

EVOLUÇÃO DA INTERAÇÃO HUMANO-MÁQUINA RUMO À AUTONOMIA COGNITIVA ADAPTATIVA: UMA ESTRUTURA SIMBIÓTICA PARA A TOMADA DE DECISÕES EM SISTEMAS CRÍTICOS

Rudinei André Welter¹; Walter Lima Teixeira Junior²

¹ Grupo Sistemas Cognitivos Artificiais, UNIFESP (welter@unifesp.br).

² Grupo Sistemas Cognitivos Artificiais, UNIFESP (walter.lima@unifesp.br).

Resumo: O progresso da interação humano-máquina (HMI) demonstra uma mudança paradigmática que transcende o desenvolvimento tecnológico, representando um autêntico deslocamento epistemológico na maneira como os sistemas são projetados e empregados. No início, durante a era mecânica, as máquinas funcionavam como extensões físicas da força humana. Com o avanço das revoluções industriais, passaram a automatizar processos, mantendo-se sob controle hierárquico. A computação trouxe a automação lógica e simbólica, fortalecida por contribuições como a de Licklider (Joseph Carl Robnett Licklider) sobre a simbiose entre homem e computador, ao passo que a inteligência artificial simbólica expandiu a interação, ainda sem a capacidade de aprendizado adaptativo. Com o avanço do aprendizado profundo, emergem sistemas que podem aprender a partir de dados e interagir de maneira multimodal, resultando no cenário atual de simbiose cognitiva, onde humanos e sistemas artificiais compartilham percepção, raciocínio e suporte à decisão. Neste cenário, este estudo examina o presente trabalho investiga a evolução da HMI (Human Machine Interaction) e propõe uma projeção conceitual para a próxima fronteira tecnológica: a autonomia cognitiva adaptativa. O desafio científico central consiste em como modelar essa autonomia em contextos operacionais críticos, permitindo uma interação eficiente, aprendizado contextual e explicabilidade simbiótica entre agentes humanos e artificiais. Do ponto de vista metodológico, o estudo emprega uma abordagem híbrida, combinando a análise histórico-conceitual com a modelagem de arquiteturas cognitivas artificiais. Essa modelagem é baseada em frameworks como o LIDA e incorpora mecanismos de percepção situacional, memória, tomada de decisão adaptativa e sensibilidade ao estado humano. A proposta apresenta introduz o conceito de simbiose cognitiva adaptativa, no qual um agente biocognitivo e um agente cognitivo artificial operam de forma interdependente, ajustando dinamicamente os níveis de autonomia com base em elementos contextuais, ambientais e humanos, como carga cognitiva, fadiga e intenção. Os resultados indicam que as arquiteturas atuais apresentam limitações significativas devido à sua operação rígida, isolada e pouco sensível ao contexto, o que afeta a confiança, segurança e eficácia em setores críticos como navegação, energia, mobilidade e defesa. Como contribuição, sugere-se uma alteração de paradigma: da autonomia vista como uma extensão da automação para a autonomia entendida como um fenômeno emergente de uma simbiose cognitiva adaptativa. A próxima geração de sistemas autônomos demandará, além de habilidades técnicas sofisticadas, uma consciência contextual, capacidade de explicação e componentes de empatia artificial. Esses

elementos irão consolidar as fundações para sistemas mais seguros, colaborativos e que atendam às demandas humanas em contextos de alta complexidade.

Palavras-chave: Interação Humano-Máquina; Autonomia Cognitiva Adaptativa; Simbiose Cognitiva; Sistemas Cognitivos Artificiais; Sistemas Críticos.

EVOLUTION OF HUMAN–MACHINE INTERACTION TOWARDS ADAPTIVE COGNITIVE AUTONOMY: A SYMBIOTIC FRAMEWORK FOR DECISION-MAKING IN CRITICAL SYSTEMS

Rudinei André Welter¹; Walter Lima Teixeira Junior²

¹ Grupo Sistemas Cognitivos Artificiais, UNIFESP (welter@unifesp.br).

² Grupo Sistemas Cognitivos Artificiais, UNIFESP (walter.lima@unifesp.br).

Abstract: The evolution of Human-Machine Interaction (HMI) demonstrates a paradigmatic shift that transcends technological development, representing a genuine epistemological displacement in the way systems are designed and employed. Initially, during the mechanical era, machines functioned as physical extensions of human strength. With the advancement of the industrial revolutions, they began to automate processes while remaining under hierarchical human control. The advent of computing introduced logical and symbolic automation, reinforced by contributions such as Licklider's (Joseph

Carl Robnett Licklider) work on human–computer symbiosis, while symbolic artificial intelligence expanded interaction, albeit without adaptive learning capabilities. With the rise of deep learning, systems capable of learning from data and interacting in a multimodal manner have emerged, leading to the current scenario of cognitive symbiosis, in which humans and artificial systems share perception, reasoning, and decision support. In this context, the present study investigates the evolution of HMI and proposes a conceptual projection toward the next technological frontier: adaptive cognitive autonomy. The central scientific challenge lies in how to model this form of autonomy in critical operational contexts, enabling efficient interaction, contextual learning, and symbiotic explainability between human and artificial agents. From a methodological perspective, the study adopts a hybrid approach, combining historical-conceptual analysis with the modeling of artificial cognitive architectures. This modeling is grounded in frameworks such as LIDA and incorporates mechanisms of situational awareness, memory, adaptive decision-making, and sensitivity to human states. The proposal introduces the concept of adaptive cognitive symbiosis, in which a biocognitive agent and an artificial cognitive agent operate interdependently, dynamically adjusting levels of autonomy based on contextual, environmental, and human factors, such as cognitive load, fatigue, and intention. The results indicate that current architectures present significant limitations due to their rigid, isolated, and context-insensitive operation, which negatively impacts trust, safety, and effectiveness in critical domains such as navigation, energy, mobility, and defense. As a contribution, this work suggests a paradigm shift: from autonomy understood as an extension of automation to autonomy conceived as an emergent phenomenon arising from adaptive cognitive symbiosis. It is argued that the next generation of autonomous systems will require not only advanced technical capabilities, but also contextual awareness, explainability, and elements of artificial empathy, thereby establishing the foundations for more reliable, collaborative systems aligned with human needs in complex environments.

Keywords: Human–Machine Interaction; Adaptive Cognitive Autonomy; Cognitive Symbiosis; Artificial Cognitive Systems; Critical Systems.