

Uma Revisão dos Métodos de Implementação de Sistemas Multiagentes em Ambientes Físicos com Foco em Artefatos

Fabian Cesar Pereira Brandão Manoel¹, Carlos Eduardo Pantoja¹

¹Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ)
Rio de Janeiro, Brasil

fabiancpbm@gmail.com.br, pantoja@cefet-rj.br

Abstract. *In the Multiagent Systems research community, it is possible to find areas of study of agents, environments with artifacts, and organization of groups and society. However, the focus in these areas has been on development in simulated environments, making it difficult for developers to migrate to physical environments. Although approaches can already be found that allows agents the ability to perceive and act in physical environments, there is still little exploration for artifacts to interact with these scenarios as well. Besides, the emergence of paradigms such as Intelligent Environment has increased interest in SMA applications in physical environments. This paper presents a Systematic Review of SMA applied in physical environments, focusing on the artifact dimension as an important approach to be considered in the development of these SMA.*

Resumo. *Na comunidade de pesquisa de Sistemas Multiagentes, é possível encontrar áreas de estudo de agentes, ambientes com artefatos, e organização de grupos e sociedade. No entanto, o foco nessas áreas tem voltado para o desenvolvimento em ambientes simulados, dificultando a migração dos programadores para os ambientes físicos. Embora já seja possível encontrar abordagens que permitam aos agentes a capacidade de perceber e agir em ambientes físicos, ainda não há muita exploração para que artefatos também interajam com estes cenários. Além disso, o surgimento de paradigmas como o Ambiente Inteligente aumentaram o interesse pelas aplicações SMA em ambientes físicos. Este artigo traz uma Revisão Sistemática do SMA aplicada em ambientes físicos, focando na dimensão de artefatos como uma importante abordagem a ser considerada no desenvolvimento desses SMA.*

Keywords: Sistema Multiagente; Artefatos; Ambientes Físicos;

1. Introdução

A Teoria da Atividade (TA) [Vygotsky 1980] é um estudo da psicologia soviética que busca entender como o ser humano aprende e como a sociedade evolui. Este tema tem servido como base para fundamentar pesquisas em ciência da computação que focam na interação humana-computacional e no trabalho coletivo. Em Sistemas Multi-Agente (SMA), a TA teve um papel fundamental ao enfatizar o papel do fator ambiental/social no desenvolvimento cognitivo de atividades colaborativas. De acordo com essas teorias,

grande partes das atividades humanas são assistidas por algum tipo de artefato, cujo design e o uso dessas ferramentas possui papel fundamental no desenvolvimento de atividades. Além disso, o desenvolvimento das sociedades humanas está estritamente relacionado ao desenvolvimento da ferramentas construídas e usadas nessas sociedades. Portanto, esta teoria reforça a importância de Artefatos, que são entidades que representam dispositivos computacionais que populam o ambiente de trabalho do agente e possuem funções que auxiliam nas atividades destes agentes [Ricci et al. 2006b, Ricci et al. 2007]. Os agentes podem se relacionar com artefatos para realizar **(i) seleção**, **(ii) uso** ou **(iii) reconstrução/manipulação** - que se trata da criação ou obtenção de um novo artefato caso as tentativas (i) e (ii) tenham falhado [Omicini et al. 2005]. Além disso, artefatos são compostos por 4 elementos [Ricci et al. 2006b]: *usage interface (UI)*, que é um conjunto de operações que agentes podem invocar para usar o artefato; *Operating Instructions (OI)*, que é uma descrição de como o artefato deve ser usado para que as suas funcionalidades possam ser acessadas; *Function*, que é o propósito de existência do artefato; e *Structure and Behaviour*, que são as características de implementação do artefato.

Com a crescente demanda para tornar ambientes e processos inteligentes e autônomos, como pode ser visto em Ambiente Inteligente (AmI) (ambientes que usam tecnologias autônomas para tornar possível a presença de dispositivos inteligentes de forma onipresente e imperceptível ao usuário [Aarts and De Ruyter 2009]) cientistas na área de SMA têm buscado criar métodos para utilizar estes SMA em ambientes físicos [Brödner 2018]. Além disso, a TA surge na área de SMA para embasar a importância da inclusão ambiental/social para o desenvolvimento cognitivo de um agente. A contribuição da TA para SMA mostrou ser mais eficiente do que a antiga ideia baseada na forte noção de agência - ao tratar agentes como entidades individuais, a implementação do sistema poderia gerar inconsistências e desorganização, dependendo da complexidade do problema abordado [Ricci et al. 2006b].

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão sistemática sobre a implementação de SMA em ambientes físicos focando na abstração de artefatos e, com isso, gerar fundamentação teórica para trabalhos futuros. Alguns trabalhos já descrevem o papel dos ambientes em SMA [Weyns and Holvoet 2005, Andrea Omicini et al. 2007] e fornecem discussões sobre este tipo de abordagem no cenário atual [Brödner 2018]. Este artigo está organizado da seguinte forma: metodologia de pesquisa na seção 2, discussão dos trabalhos relacionados ao tema na seção 3 e a uma conclusão da revisão na seção 4.

2. Metodologia da Revisão

O objetivo desta revisão sistemática da literatura é o de conhecer o estado da arte sobre a implementação de SMA em ambientes físicos focando na utilização de artefatos. Para isso, as seguintes questões de pesquisa foram levantadas: (1) Qual a relevância de ter um ambiente físico controlado por um SMA? (2) Como artefatos são implementados para ambientes físicos? (3) Quais os problemas existentes ao implementar artefatos de um SMA para ambientes físicos? (4) É possível que SMA sejam usados para controlar ambientes físicos com altos requisitos de confiabilidade?

Para encontrar os trabalhos relacionados que ajudarão com as questões de pesquisa, uma *string* foi formada com base nos seguintes itens que definem a busca: (1) expressões para a base primária de pesquisa (SMA), como "multiagent" e "multi-agent"; (2) termo que representa ambientes em SMA, como "artifact"; e (3) termos relacionados a ambientes físicos na área de industrial, petrolífera, residencial, robótica e veicular. Cada item foi escrito de forma restritiva na *string* de busca, ou seja, utilizando a palavra *AND*. Já os sinônimos encontrados em cada item foram escritos utilizando a palavra *OR* entre eles. A partir deste processo, os termos de busca ficaram definidas na seguinte *string*: ("multiagent"OR "multi-agent") AND (artifact*) AND (industr* OR "home"OR resident* OR "oil"OR "automation"OR "physical environment"OR "real world"OR "internet of things"OR "device"OR robot* OR "car"OR "automobile"OR "vehicle").

Esta *string* de busca foi executada no *Scopus*, *ACM* e *IEEE Xplore*, onde foram retornados, respectivamente, 104, 12 e 24 trabalhos, totalizando 140 resultados. Para a seleção dos trabalhos mais relevantes, foram adotados os seguintes critérios de inclusão e exclusão:

1. Inclusão: (a) Trabalhos que respondam a pelo menos uma das questões de pesquisa; (b) Trabalhos que tragam discussões sobre a relação entre SMA e ambientes físicos; (c) Trabalhos que utilizem um ambiente simulado que represente cenários industriais, residenciais, petrolíferos, robóticos ou veiculares.
2. Exclusão: (a) Trabalhos que não simulem ou implementem ambientes reais, ou seja, aqueles que, mesmo falando de artefatos e ambientes, não demonstram o cenário no trabalho; (b) Trabalhos similares entre si, onde neste caso, a inclusão deste trabalho se faria redundante para esta revisão; (c) Proceedings.

Primeiramente, foi feita a leitura de todos os 140 *abstracts*. Utilizando os critérios adotados, foram selecionados 16 trabalhos para leitura completa, sendo [Takeda et al. 2000] e [Andrea Omicini et al. 2007] encontrados na base *IEEE Xplore* e os demais na base *Scopus*. Além disso, quatro trabalhos foram aproveitados como referencial teórico [Ricci et al. 2006b, Ricci et al. 2007, Weyns and Holvoet 2005, Andrea Omicini et al. 2007].

3. Discussão dos Trabalhos

Esta seção apresenta uma discussão dos trabalhos selecionados, buscando apresentar a necessidade, vantagens e desvantagens de aplicar SMA em ambientes físicos com foco em artefatos e comparar os trabalhos relacionados.

Uma discussão em [Brödner 2018] indica que SMA tem sido um tema de interesse em busca de otimização computacional para a inteligência artificial, uma vez que é remontada a ideia de que a capacidade do SMA de realizar tarefas simples, coordenadas e distribuídas entre vários agentes produza inteligência artificial mais leve do que a tradicional. Apesar dessa ideia ter sido considerada incorreta (já que agentes também possuem restrições computacionais), SMA ainda devem ser considerados para formar sistemas físicos devido à capacidade que seus agentes têm de coletar dados do ambiente, processar informações de forma adaptativa e orientada a objetivos, e gerar respostas ao

ambiente ou outros agentes. Um cenário onde a forte noção de agência pode ser crítica pode ser visto em [Amaral et al. 2019].

Em [Issicaba et al. 2018], são apresentados experimentos de laboratório para verificar o raciocínio de agentes BDI para o Controle Web of Cell (WoC) - que é uma abordagem de rede para mapear células do sistema de energia elétrica e gerenciá-los de forma distribuída. Para a aplicação do paradigma de agentes, utilizou-se o JASON, e para paradigma de ambiente, utilizou-se o framework *CARtAgO* [Ricci et al. 2006a]. Porém, embora este trabalho tenha sido aplicado para ambientes físicos e seus agentes, sua solução foi específica para esta aplicação, sendo difícil utilizar esta solução em outro projeto.

Em [Amaral et al. 2019], o componente *Apache Camel* para artefatos (*CamelArtifact*) é demonstrado no cenário da indústria 4.0. Para isso, um SMA com a abordagem de Agentes e Artefatos (A&A) foi implementado e, por ter sido feito para um ambiente que demanda alta performance, a implementação com artefatos é necessária por ser computacionalmente mais leve. Além disso, o uso do *Apache Camel* possibilita um roteamento de mensagens leve e a integração com diversos dispositivos e tecnologias de rede, como o OPC, REST, e-mail, MQTT e Telegram. Apesar da solução tornar possível implementações em ambientes industriais físicos, é preciso ficar atento quanto à dependência na tecnologia *Apache Camel*. Trabalhos futuros podem focar em aplicações de artefatos físicos que mantenham o caráter heterogêneo independente do *Apache Camel*. Além destes trabalhos, outros encontrados na revisão possuem características semelhantes, e portanto podem ser agrupados de acordo com estas características, como está sendo representado na Tabela 1.

4. Conclusão

Este artigo apresentou uma revisão sobre a aplicação SMA aplicados a ambientes físicos, buscando entender e explorar a relevância dos artefatos como facilitadores no desenvolvimento de sistemas deste tipo. Para isso, questões de pesquisa foram levantadas e os resultados de busca foram adaptados para garantir tanto o embasamento teórico quanto a exploração de características divergentes entre os trabalhos selecionados.

Sobre a relevância de ter um ambiente físico controlado por um SMA, os agentes de um SMA podem receber percepções do ambiente, realizar planos orientado a objetivos, gerando respostas ao ambiente ou outros agentes. Isso torna um SMA sensível às modificações de um ambiente físico. Já sobre a implementação de artefatos para ambientes físicos, foi visto que, atualmente, alguns SMA são implementados sem utilizar artefatos; já outras aplicações implementam artefatos por meio de simulações; e por último, artefatos aplicados em ambientes físicos costumam ser específicos para a abordagem do trabalho, dificultando a reprodutibilidade da aplicação. Artefato apresenta grande vantagem para sistemas físicos, porém, não deve ser considerado como uma solução livre de limitações computacionais. Sobre a capacidade de um SMA de ser usado para controlar ambientes físicos com altos requisitos de confiabilidade, foram apresentadas implementações na área de petróleo, indústria 4.0, etc. que mostraram que SMA são capazes de atuar nestes cenários. Porém, deve-se destacar que o nível de confiabilidade tende a aumentar a medida que novas abordagens surgem para ambientes físicos.

Tabela 1. Tabela Comparativa dos Trabalhos

| Trabalho | Característica |
|--|---|
| [Molfino et al. 2008, De Carolis et al. 2005, Locatelli et al. 2010, Pecora and Cesta 2007, Rincon et al. 2018, Fahad et al. 2014] | Representa um cenário real, porém, implementado em um ambiente simulado, e com isso, não realiza conexões com o meio físico. |
| [Takeda et al. 2000, Issicaba et al. 2018] | Utiliza abordagem de SMA ou similar conectado a um ambiente físico, porém a aplicação é específica para o trabalho, não podendo reutilizar com facilidade a abordagem implementada em outros trabalhos. |
| [Amaral et al. 2019], [Sanchez-Pi et al. 2015] | Realiza testes em ambientes críticos e que, portanto, demandam alto grau de confiabilidade. |
| [Sanchez-Pi et al. 2015] | Considerando apenas este trabalho, a abordagem de agentes é usada para representar objetos como sensores e atuadores, podendo resultar em uma aplicação pesada para agentes dependendo do tamanho do projeto. |

Por fim, esta revisão mostrou que a implementação ambientes físicos através de SMA é uma abordagem que vem ganhando cada vez mais importância e que ainda deve ser melhorada para suportar cenários críticos. Além disso, novas ferramentas que ajudem o desenvolvedor a implementar SMA sem preocupações sobre detalhes de tecnologia já estão sendo implementadas. Com isso, SMA com uso de artefatos tem ganhado a característica de um sistema robusto e adaptativo, e portanto, estão se tornando cada vez mais preparados para aplicações em ambientes físicos e complexos.

Referências

- Aarts, E. and De Ruyter, B. (2009). New research perspectives on ambient intelligence. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, 1(1):5–14.
- Amaral, C., Cranefield, S., Hübner, J., and Roloff, M. (2019). Giving camel to artifacts for industry 4.0 integration challenges. 11523 LNAI:232–236.
- Andrea Omicini, Alessandro Ricci, and Giuseppe Vizzari (2007). Building smart environments as agent workspaces.
- Brödner, P. (2018). “super-intelligent” machine: technological exuberance or the road to subjection. 33(3):335–346.

- De Carolis, B., Cozzolongo, G., Pizzutilo, S., and Plantamura, V. (2005). Agent-based home simulation and control. 3488 LNAI:404–412.
- Fahad, M., Boissier, O., Maret, P., Moalla, N., and Gravier, C. (2014). Smart places: Multi-agent based smart mobile virtual community management system. 41(4):1024–1042.
- Issicaba, D., Rosa, M., Prostejovsky, A., and Bindner, H. (2018). Experimental validation of BDI agents for distributed control of electric power grids. In *2017 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe, ISGT-Europe 2017 - Proceedings*, volume 2018-January, pages 1–6.
- Locatelli, M., Loregian, M., and Vizzari, G. (2010). Artificial societies in a community-based approach to ambient intelligence. 53(8):1152–1168.
- Molfinio, R., Carca, E., Zoppi, M., Bonsignorio, F., Callegari, M., Gabrielli, A., and Principi, M. (2008). A multi-agent 3d simulation environment for clothing industry. 5325 LNAI:53–64.
- Omicini, A., Ricci, A., and Viroli, M. (2005). Coordination artifacts as first-class abstractions for mas engineering: State of the research. In *International Workshop on Software Engineering for Large-Scale Multi-agent Systems*, pages 71–90. Springer.
- Pecora, F. and Cesta, A. (2007). DCOP for smart homes: a case study. 23(4):395–419.
- Ricci, A., Viroli, M., and Omicini, A. (2006a). Cartago: A framework for prototyping artifact-based environments in mas. In *International Workshop on Environments for Multi-Agent Systems*, pages 67–86. Springer.
- Ricci, A., Viroli, M., and Omicini, A. (2006b). Programming MAS with artifacts. 3862 LNAI:206–221.
- Ricci, A., Viroli, M., and Omicini, A. (2007). "give agents their artifacts: The a&a approach for engineering working environments in MAS. In *Proceedings of the International Conference on Autonomous Agents*, pages 613–615.
- Rincon, J., Garcia, E., Julian, V., and Carrascosa, C. (2018). The JaCalIVE framework for MAS in IVE: A case study in evolving modular robotics. 275:608–617.
- Sanchez-Pi, N., Leme, L., and Garcia, A. (2015). Intelligent agents for alarm management in petroleum ambient. 28(1):43–53.
- Takeda, H., Ueno, A., Saji, M., Nakano, T., and Miyamoto, K. (2000). A robot recognizing everyday objects-towards robot as autonomous knowledge media. 2:1107–1112.
- Vygotsky, L. S. (1980). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard university press.
- Weyns, D. and Holvoet, T. (2005). On the role of environments in multiagent systems. 29(4):409–421.