

Uma Ontologia para Padronização do Domínio de Robótica e Automação

Sandro Rama Fiorini, Joel Luis Carbonera, Vitor A. M. Jorge,
Edson Prestes, Mara Abel

Instituto de Informática – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Caixa Postal 15.064 – 91.501-970 – Porto Alegre – RS – Brazil

{srfiorini, jlcarbonera, vamjorge, prestes, marabel}@inf.ufrgs.br

Abstract. *This paper summarizes the development of a core ontology in the Robotics and Automation domain (R&A), as part of the efforts of IEEE RAS to standardize the field. Tasks and interaction in which robots find themselves in are increasing in complexity. That imposes the requirement for a formally specified body of knowledge that is necessary in such processes. In this context, we propose a core ontology that describes the basic concepts and relations encompassing the R&A domain, based on other existent standard vocabularies and expert knowledge.*

Resumo. *Este artigo sumariza o desenvolvimento de uma ontologia de núcleo para o domínio de Robótica e Automação (R&A) como parte do esforço da IEEE RAS para padronização da área. O aumento da complexidade das tarefas e interações realizadas por robôs coloca a necessidade de um padrão que especifique formalmente o conhecimento necessário nestes processos. A ontologia de núcleo proposta captura os principais conceitos e relações abrangendo o domínio de R&A como um todo, usando como base padronizações já existentes na literatura da área e conhecimento especialista.*

1. Introdução

O aumento constante da complexidade das tarefas realizadas por robôs tem demandando mecanismos mais sofisticados de colaboração entre eles e outros agentes, sejam estes outros robôs ou humanos. Neste contexto, torna-se evidente a necessidade de um *padrão* que capture de forma explícita e formal o conhecimento compartilhado no campo da robótica e automação (R&A). A existência de um padrão que defina precisamente os conceitos neste domínio é fundamental para promover a interoperabilidade semântica entre os diversos agentes e sistemas envolvidos. Neste cenário, ontologias têm sido adotadas como uma tecnologia capaz de promover esta interoperabilidade, uma vez que elas constituem especificações formais de conceitualizações compartilhadas (Studer, Benjamins, & Fensel, 1998). A utilização de ontologias em processos de padronização tem sido explorada na linha de pesquisa em padrões baseados em ontologias (*ontology-based standards*). Iniciativas recentes neste sentido, como a *Ontology-based Standards Initiative*¹, tem promovido uma aproximação e a troca de experiências entre a comunidade de pesquisa em ontologias e a comunidade de padronização, enfatizando como o

¹ <http://ontolog.cim3.net/cgi-bin/wiki.pl?OntologyBasedStandards>

processo de padronização pode ser auxiliado por princípios, ferramentas e metodologias tipicamente relacionados ao desenvolvimento de ontologias.

Desde Novembro de 2011, nosso grupo, chamado Ontologies for Robotics and Automation Working Group (ORA WG), vem atuando como um grupo de trabalho oficial junto à IEEE-SA Standards Board, assumindo o objetivo de padronizar a representação de conhecimento no domínio da robótica. Este grupo, que inclui mais de 140 pessoas de mais de 20 países, tem trabalhado ativamente com instituições da indústria, academia e governo para desenvolver um conjunto de ontologias, ferramentas e metodologias associadas, para serem usadas como um padrão no domínio da Robótica e Automação (R&A).

O ORA WG é composto por quatro subgrupos: *Industrial Robots* (InR), *Service Robots* (SeR), *Autonomous Robots* (AuR) and *Upper Ontology/Methodology* (UpOM). Os três primeiros são responsáveis pela elaboração de ontologias para três subdomínios da R&A considerados nesta fase do projeto, sendo eles robótica industrial, de serviço e autônoma, respectivamente. Já o UpOM tem como principal objetivo o desenvolvimento de uma *ontologia de núcleo* (*core ontology*) que especifique os conceitos mais gerais do domínio, desempenhando o papel de base para a integração consistente de todas as subontologias desenvolvidas no projeto. Além disso, o UpOM também está encarregado de avaliar e integrar as subontologias propostas pelos demais subgrupos do ORA WG.

Este artigo descreve a *Ontologia de Núcleo para Robótica e Automação* (*Core Ontology for Robotics and Automation*, ou CORA), desenvolvida pelo UpOM e detalhada em (Prestes et al., 2013); e apresenta os primeiros resultados da axiomatização do modelo. Primeiramente discutimos o processo de engenharia de ontologias realizado durante o desenvolvimento da ontologia CORA. Em seguida, apresentamos os seus principais conceitos, com ênfase para o conceito de robô.

2. Desenvolvimento da Ontologia

Devido à complexidade esperada em um projeto como este, é necessário determinar quais metodologias, ferramentas e princípios serão utilizados para guiar o processo de desenvolvimento das ontologias. Adotamos a METHONTOLOGY (Lopez, Perez, & Juristo, 1997) como metodologia geral de desenvolvimento de ontologias, uma vez que ela oferece características ajustadas às necessidades do projeto, tais como a independência de aplicação e a ênfase no desenvolvimento de ontologias no nível do conhecimento. A METHONTOLOGY também estabelece um conjunto de atividades que devem ser realizadas durante o desenvolvimento, especifica o ciclo de vida da ontologia ao longo do desenvolvimento e indica técnicas para realizar cada atividade proposta no ciclo de vida. Além disso, adotamos a OntoClean (Guarino & Welty, 2009) como ferramenta de avaliação da ontologia em desenvolvimento. Também utilizamos as meta-propriedades oferecidas pela OntoClean como princípios para avaliação de outras fontes de conhecimento consultados para a elaboração da ontologia proposta. Finalmente, adotamos uma abordagem *middle-out* para identificação de conceitos, isto é, identificando antes aqueles mais relevantes e em seguida os mais abstratos e os mais específicos.

O processo de desenvolvimento foi iniciado com a identificação de fontes das quais o conhecimento de domínio seria adquirido. As principais fontes identificadas foram: padrões já existentes no domínio; livros-texto, artigos revisados por pares; espe-

cialistas no domínio; e ontologias já existentes, incluindo não apenas ontologias de domínio, mas também ontologias de topo, como a SUMO (Niles & Pease, 2001).

Analisando as fontes identificadas, constatamos que as ontologias já desenvolvidas no domínio, em geral, focam apenas em um subconjunto restrito de conceitos do domínio, adotando significados específicos, compartilhados apenas por pequenos grupos de pessoas. Devido a isto, decidimos iniciar a identificação de conceitos a partir do documento ISO 8373:2012, que define em linguagem natural termos genéricos que são comuns no domínio da R&A. Este documento foi considerado uma fonte inicial de conhecimento adequada, uma vez que este padrão foi elaborado com o intuito de estabelecer um acordo inicial na comunidade de R&A.

A partir deste documento da ISO, foram identificados os termos e definições relacionados aos conceitos mais gerais do domínio e que deveriam participar da ontologia de núcleo. Este conhecimento então foi estruturado e representado usando as representações intermediárias previstas pela METHONTOLOGY. Neste estágio também realizamos uma avaliação da conceitualização capturada do documento da ISO, utilizando a OntoClean. Este processo permitiu constatar que as definições oferecidas pela ISO para conceitos chave são ambíguas e que alguns dos compromissos ontológicos não estão explícitos nas definições, permitindo algumas interpretações não pretendidas. Detalhes desta análise são apresentados em (Prestes et al., 2013).

O próximo passo foi a coleta de definições alternativas para os termos identificados anteriormente. A partir de uma análise das definições alternativas, foram elaboradas novas definições para estes termos, com o intuito de contemplar os principais aspectos enfatizados pelas definições encontradas.

Finalmente, integramos a ontologia com uma ontologia de topo. Ontologias de topo ajudam a organizar a estrutura básica de ontologias mais específicas ao estruturar as principais categorias gerais, presentes em qualquer domínio. Nesta etapa, selecionamos a SUMO (Niles & Pease, 2001), uma ontologia de topo desenvolvida por um grupo de trabalho oficial da IEEE, que inclui colaboradores de diversas áreas. A SUMO oferece uma descrição flexível das categorias de topo e inclui as principais noções e distinções necessárias para a ontologia de núcleo de R&A.

3. Ontologia de núcleo para R&A

A CORA (Figura 1) é naturalmente uma ontologia sobre robôs e conceitos relacionados. O objetivo é descrever as qualidades que caracterizam robôs em geral. Ela descreve quatro categorias abrangentes: parte de robô, robô, grupo de robôs e sistema robótico. Dadas as restrições de espaço, apresentaremos uma breve descrição de cada conceito.

Talvez existam tantas definições para o termo "robô" quanto existem autores escrevendo sobre o assunto. Essa ambiguidade inerente ao termo se torna um problema quando se pretende defini-lo de forma abrangente. Por isso, decidimos definir "robô" somente em termos de condições *necessárias*. Isso nos permite cobrir todas as entidades que a comunidade considera como sendo um robô, ao custo de permitir a caracterização de entidades que não são usualmente consideradas como robôs por alguns roboticistas. Não obstante, os conceitos da nossa ontologia podem ser especializados para contemplar entidades com significado mais restrito, de acordo com as necessidades de subdomínios e aplicações de R&A.

Mais importante, decidimos por uma definição de robô que enfatiza os seus aspectos funcionais. Definimos robôs como dispositivos agentivos em um sentido amplo, capazes de agir no mundo físico com o propósito de completar uma ou mais tarefas. Em alguns casos, as ações de um robô podem estar subordinadas às ações de outros agentes, tais como agentes de software ou humanos. Um robô é composto por partes mecânicas e eletrônicas apropriadas. Robôs podem formar grupos sociais, onde eles interagem para atingir um objetivo único. Um robô (ou um grupo de robôs) pode formar sistemas robóticos junto com equipamentos situados no ambiente que facilitam o seu trabalho.

Um robô é um *dispositivo* e um *agente* no sentido da SUMO:

$$\forall x \text{ Robô}(x) \rightarrow \text{SUMO:Agente}(x) \wedge \text{SUMO:Dispositivo}(x).$$

De acordo com ela, um dispositivo é um artefato (i.e. um objeto físico produto de fabricação), cujo propósito é participar como um instrumento em um processo. A SUMO define agente como “algo ou alguém que pode agir por si próprio e produzir mudanças no mundo.” Robôs realizam tarefas agindo no ambiente ou em si mesmos. Ação é fortemente relacionada à agência, no sentido de que a ação define o agente.

Naturalmente, dispositivos podem ter partes. Definimos um conceito específico que captura a noção de parte de robô:

$$\begin{aligned} \forall x \text{ ParteDeRobô}(x) \rightarrow \text{SUMO:Dispositivo}(x) \\ \wedge \exists y [\text{Robô}(y) \wedge \text{SUMO:componente}(x, y)], \end{aligned}$$

onde a relação $\text{SUMO:componente}(x, y)$ é uma relação partonômica que especifica que o objeto x é parte do objeto y ; i.e. $\forall x \text{ SUMO:componente}(x) \rightarrow \text{SUMO:parte}(x, y)$. É importante frisar que não assumimos a existência de algum dispositivo que é necessariamente parte de robô. A razão disso é que até mesmo os dispositivos mais especializados para robótica podem ser utilizados em dispositivos diferentes de robô. Isto caracteriza *ParteDeRobô* como um *papel formal*, no sentido de Guarino e Welty (2000); o conceito caracteriza qualquer outro dispositivo que pode compor um robô, de porcas e parafusos até manipuladores e atuadores.

Robôs podem também formar *grupos de robôs*. De acordo com a SUMO, um *grupo* é uma coleção de agentes. Um grupo de robôs é definido como:

$$\forall x \text{ GrupoDeRobôs}(x) \rightarrow \text{SUMO:Grupo}(x) \wedge \forall y [\text{SUMO:membro}(y, x) \rightarrow \text{Robô}(y)].$$

A SUMO define grupo como sendo também um agente; sua agência emerge dos participantes do grupo. Esse conceito pode ser usado para descrever entidades tais como times de robôs, ou mesmo robôs complexos formados por diversos agentes robóticos independentes atuando em uníssono.

Robôs podem participar de *sistemas robóticos*. Um sistema robótico é composto por um robô ou um grupo de robôs, mais dispositivos situados no ambiente que dão suporte a atuação dos robôs. Dessa forma,

$$\begin{aligned} \forall x \text{ SistemaRobótico}(x) \\ \rightarrow \exists y [\text{SUMO:Dispositivo}(y) \wedge \neg \text{Robô}(y) \wedge \text{SUMO:componente}(y, x) \\ \wedge \text{suporta}(y, x)] \\ \wedge \exists! z [\text{parte}(z, x) \wedge [\text{Robô}(z) \vee \text{GrupoDeRobôs}(z)]]; \end{aligned}$$

Dado que Robô e Grupo de Robôs são conceitos disjuntos, o axioma anterior induz a presença de dois subconceitos de Sistema Robótico: (a) o Sistema Robótico Simples, que tem como parte um e somente um robô; e o Sistema Robótico Coletivo, que tem como parte um grupo de robôs. Dessa forma, excluimos a existência de sistemas robóticos com diversos robôs não integrados. Já um ambiente robótico é um ambiente equipado com um sistema robótico:

$$\forall x \text{ AmbienteRobótico}(x) \rightarrow \text{Ambiente}(x) \\ \wedge \exists y [\text{SistemaRobótico}(y) \wedge \text{equipadoCom}(x, y)];$$

tal que os equipamentos que dão suporte ao sistema robótico estão obrigatoriamente localizados no ambiente; i.e.,

$$\forall x \forall y \text{ equipadoCom}(x, y) \rightarrow \forall z [\text{suporta}(z, y) \rightarrow \text{SUMO:localizado}(z, x)]$$

Um bom exemplo de sistema robótico é uma célula de montagem em uma fábrica de automóveis. Ela é formada por um grupo de robôs industriais que montam os automóveis, mais todo o equipamento de apoio à montagem, como sensores, guindastes e esteiras de transporte.

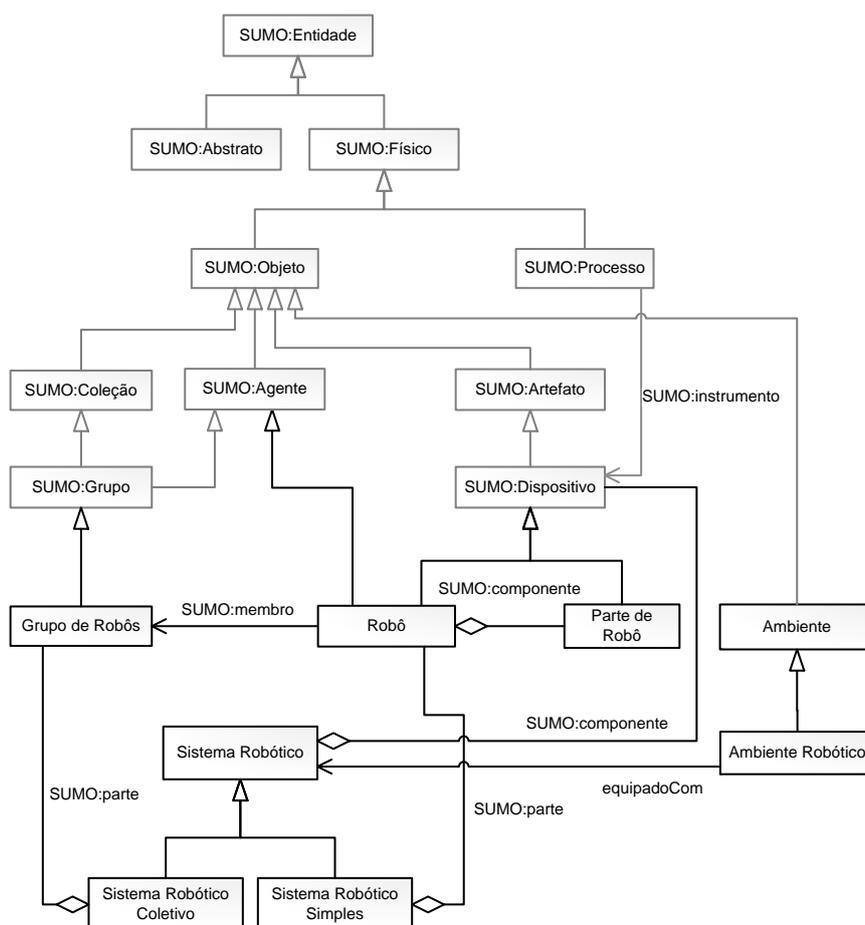


Figura 1. Visão geral da ontologia pra robótica e automação. Conceitos e relações em cinza são estabelecidos pela SUMO.

4. Considerações Finais

Ainda existe trabalho a ser feito para que o ORA WG chegue a um conjunto de ontologias padrão para R&A. Atualmente, temos duas frentes de trabalho. Estamos estendendo a CORA para especificar outros aspectos importantes do domínio, como noções de posicionamento, tarefas e estado do robô (e.g. Carbonera et al., 2013). Além disso, estamos trabalhando com os demais subgrupos para o desenvolvimento da ontologia resultante do projeto, que integra as diversas ontologias específicas com a ontologia de núcleo. No futuro próximo pretendemos fundamentar as ontologias propostas pelo UpOM de acordo com a ontologia de fundamentação UFO (Guizzardi, 2005).

5. Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a CNPq, CAPES, ANP e projeto PRH PB-217 pelo suporte financeiro a este trabalho.

6. Referências

- Carbonera, J. L., Fiorini, S. R., Prestes, E., Jorge, V. A. M., Abel, M., Madhavan, R., ... Schlenoff, C. (2013). Defining Position in a Core Ontology for Robotics. In *Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2013)*. Tokyo, Japan. (Aceito para publicação).
- Guarino, N., & Welty, C. A. (2000). A Formal Ontology of Properties. In *Proceedings of the 12th European Workshop on Knowledge Acquisition, Modeling and Management* (pp. 97–112). Springer-Verlag.
- Guarino, N., & Welty, C. A. (2009). An Overview of OntoClean. In S. Staab & R. Studer (Eds.), *Handbook on Ontologies* (pp. 201–220). Springer Berlin Heidelberg.
- Guizzardi, G. (2005). *Ontological foundations for structural conceptual models*. Netherlands: CTIT.
- ISO 8373:2012. Robots and robotic devices - Vocabulary. (2012). ISO/TC 184/SC 2.
- Lopez, M., Perez, A., & Juristo, N. (1997). METHONTOLOGY: from Ontological Art towards Ontological Engineering (pp. 33–40). Presented at the Proceedings of the AAAI97 Spring Symposium.
- Niles, I., & Pease, A. (2001). Towards a standard upper ontology. In *Proceedings of the international conference on Formal Ontology in Information Systems - Volume 2001* (pp. 2–9). New York, NY, USA: ACM. doi:10.1145/505168.505170
- Prestes, E., Carbonera, J. L., Fiorini, S. R., Jorge, V. A. M., Abel, M., Madhavan, R., ... Schlenoff, C. (2013). Towards a core ontology for robotics and automation. *Robotics and Autonomous Systems*. doi:10.1016/j.robot.2013.04.005
- Studer, R., Benjamins, V. R., & Fensel, D. (1998). Knowledge engineering: principles and methods. *Data & Knowledge Engineering*, 25(1-2), 161–197.