Journal of Emerging Defense Knowledge and Research Policy

Volume 1, Issue 3
September 2024
p.p 52-65

Shahid Sattari Air University

Presenting an ontology of Existing Knowledge in the Field of Software Models

Ehsan Sharifi1, Amir Hossain Zanganeh2, Amir Mahdi Sazdar3

Abstract

Background & Purpose: The model as the most important tool in engineering, plays a vital role in the quality of the final product. Model-driven development in software engineering is considered a paradigm shift from object-oriented, which emphasizes models rather than objects. Familiarity with existing knowledge in the field of models plays a significant role in increasing the ability of software engineers. The existence of many concepts, along with diverse or conflicting views, has made it challenging to transfer the existing knowledge in the field of models to people who have recently entered this field.

Methodology: In this article, we intend to specify the existing knowledge in the software models in a formal form by defining a semantic structure of models in the form of an ontology. For this purpose, we create an ontology in the field of software models by presenting a method based on the definition of competency questions and conceptualizing the existing knowledge in this field.

Findings: The ontology created in this article has been evaluated by experts in this field using the approach of examining competency questions. The evaluation results show that this ontology satisfactorily answers the existing knowledge in this field based on the competence questions raised.

Conclusion: The ontology presented in this article makes it possible to resolve the ambiguities in the concepts of this field. The connection of this ontology to other reference ontologies can improve the scope of its application from the field of models to other fields of engineering.

Keywords: Model, an ontology, Competency Questions, Knowledge

1. Ph.D. in Software, Amirkabir University of Tehran, Iran esharif@aut.ac.ir
2. Ph.D. in Artificial Intelligence, Islamic Azad University of Tehran, Iran
3. Ph.D. in Communication Engineering, Shahid Beheshti University of Tehran, Iran

Received: 2022/12/04
Accepted: 2023/06/02
Corresponding Author: Amir Mahdi Sazdar

فصلنامهٔ سیاستگذاری دانش و پژوهش‌های نوین دفاعی
دوره ۱، شماره ۳
مهر ۱۴۰۳
صص۵۲-۶۵

معاونت پژوهش و فناوری

ارائه یک پایگاه شناخت از دانش موجود در حوزه مدل های نرم افزاری

احسان شریفی[۱]، امیرحسین زنگنه[۲]، امیرمهدی سازدار[۳]

چکیده

زمینه و هدف: مدل به‌عنوان مهم‌ترین ابزار در علوم مهندسی نقشی حیاتی در کیفیت محصول نهایی ایفا می‌کند. توسعه مدل‌رانه در مهندسی نرم‌افزار یک تغییر الگو بر تکنولوژی شیءگرا محسوب می‌شود که تأکید آن به‌جای شیء بر روی مدل است. بر اساس این دیدگاه، مدل مهم‌ترین محصولی است که در هنگام تولید یک سیستم نرم‌افزاری ایجاد می‌شود و از طریق پالایش‌های مستمر به نرم‌افزار قابل‌اجرا تبدیل می‌شود؛ لذا آشنایی با دانش موجود در حوزه مدل نقش بسزایی در افزایش توانایی مهندسین نرم‌افزار ایفا می‌کند. وجود مفاهیم فراوان در کنار برداشت‌های متنوع یا متضاد، انتقال دانش موجود در حوزه مدل را به افرادی که به‌تازگی پا به این عرصه نهاده‌اند چالش‌برانگیز نموده است.

روش‌شناسی: پژوهش حاضر قصد دارد با تعریف یک ساختار معنایی از مدل‌ها در قالب پایگاه شناخت، دانش موجود در حوزه‌ی مدل‌های نرم‌افزاری را به شکلی صوری و قابل استدلال توصیف نماید. بدین منظور با ارائه روشی مبتنی بر تعریف سؤالات شایستگی و مفهومی‌سازی دانش موجود در این زمینه، یک پایگاه شناخت در حوزه‌ی مدل‌های نرم‌افزاری ایجاد می‌شود.

یافته‌ها: آنتولوژی ایجاد شده در این مقاله با استفاده از رویکرد بررسی سؤالات شایستگی توسط افراد خبره در این حوزه مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج ارزیابی نشان می‌دهد که این آنتولوژی به طرز مطلوبی دانش موجود در این حوزه را بر اساس سؤالات شایستگی مطرح شده پاسخ می‌دهد.

نتیجه‌گیری: پایگاه شناخت ارائه شده در این مقاله امکان رفع ابهامات موجود در مفاهیم این حوزه را فراهم می‌کند. توسعه و اتصال این پایگاه شناخت به سایر پایگاه‌های شناخت مرجع می‌تواند دامنه کاربرد آن را از حوزه مدل به سایر حوزه‌های علوم و مهندسی ارتقا بخشد.

کلیدواژه‌ها: *مدل، پایگاه شناخت، سؤالات شایستگی، دانش*

[۱] دکترای نرم افزار، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران esharif@aut.ac.ir
[۲] دکترای هوش مصنوعی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران zangane.amirhosein@ssau.ac.ir
۳ دکترای مخابرات، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران sazdar@ssau.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۹/۱۳
تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۴۰۱/۱۱/۱۷
نویسنده مسئول مقاله: امیر مهدی سازدار

مقدمه

مدل‌سازی یکی از اصلی‌ترین فرآیندهای ذهنی است که به طور ذاتی در ذهن انسان وجود دارد. برخی از مهم‌ترین توانائی‌هایی انسان نظیر تفکر، برقراری ارتباط، تعمیم تجربیات و برخورد با شرایط غیرمنتظره بر مدل‌سازی استوار است. مدل به‌عنوان یک ابزار مفهومی، مبنای رفتار هوشمند انسانی است و انسان‌ها طراحانی هستند که از روی عادت یا اجبار برای مواجهه و تعامل با حقایق، مدل‌هایی ساخته و از آنها استفاده می‌کنند(Rothenberg et al., 1989). استفاده از مدل باعث می‌شود که قبل از اینکه تلاش یا هزینه‌ای برای پیاده‌سازی انجام دهیم مشکلات پیچیده و راه‌حل‌های بالقوه را بهتر درک کنیم. بیشتر علوم مهندسی و به طور خاص مهندسی نرم‌افزار بر مدل‌سازی استوار بوده و مدل به عنوان یکی از مهمترین محصولات[1] در چرخه حیات آنها مطرح می‌باشد.

وجود مفاهیم متنوع در حوزه مدل به همراه روابط نسبتاً پیچیده موجود بین این مفاهیم موجب می‌شود تا افرادی که به‌تازگی به این عرصه پا نهاده‌اند با انبوهی از مفاهیم و دسته‌بندی‌ها مواجه شوند که نه‌تنها مرجع منسجم و قابل ارجاعی برای رفع ابهام در خصوص آنها وجود ندارد، بلکه تنوع عقاید و سلیقه‌ها بین پژوهشگران این حوزه در خصوص این مفاهیم، بر ابهام موجود در ذهن این افراد افزوده و باعث برداشت‌های ناقص، مبهم یا غیردقیق از این مفاهیم می‌گردد. علاوه بر این، وجود جنبه‌های مختلف مدل‌سازی و دیدگاه‌های متنوع در زمینه دسته‌بندی مدل‌ها باعث شده که عدم وجود یک ساختار معنایی برای صوری‌سازی مفاهیم موجود در این حوزه کاملاً احساس شود؛ لذا این مقاله قصد دارد یک ساختار معنایی از مفاهیم و روابط موجود در این حوزه ارائه نماید. هدف از ارائه این ساختار، رفع ابهام از مفاهیم و روابط موجود در حوزه مدل و ارائه یک دسته‌بندی جامع از انواع مدل‌ها با تمرکز بر مدل‌های حوزه مهندسی نرم‌افزار است. نوآوری این مقاله ارائه این ساختار معنایی در قالب پایگاه شناخت[2] است که امکان بیان مفاهیم و روابط را به شکلی قابل‌فهم توسط انسان و قابل‌پردازش توسط ماشین ارائه می‌نماید. هدف از بازنمایی این ساختار توسط پایگاه شناخت، کاهش ابهام‌های موجود و حرکت به سمت ایجاد یک برداشت واحد و اشتراکی از مفاهیم این حوزه است به‌نحوی‌که امکان به‌اشتراک‌گذاری، همکاری و قابلیت استفاده مجدد فراهم گردد.

ساختار این مقاله در ادامه بدین شکل سازماندهی شده است: در بخش دوم این مقاله پیشینه پژوهش مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس در بخش سوم ادبیات تحقیق بیان می‌شود. در بخش چهارم مراحل مربوط به روش پیشنهادی برای ایجاد پایگاه شناخت مدل معرفی می‌گردند. در بخش پنجم روش پیشنهادی ارزیابی می‌شود. سپس در بخش ششم نتایج مورد بحث قرار می‌گیرد. در انتها نیز نتیجه‌گیری و کارهای آینده ارائه می‌شود.

پیشینه پژوهش

در خصوص به‌کارگیری پایگاه شناخت در بازنمایی معنایی مفاهیم موجود در حوزه نرم‌افزار، فعالیت‌های پژوهشی متعددی صورت‌گرفته است. یکی از پژوهش‌های این حوزه، نحوه‌ی بکارگیری پایگاه شناخت در مهندسی نرم‌افزار را مورد بررسی قرار داده است و در انتها یک تاکسونومی از پایگاه‌های شناخت استفاده شده در حوزه‌ی مهندسی نرم‌افزار ارائه نموده است (Ruiz & Hilera, 2006). در یک دیگر، مدل‌های مفهومی از حوزه مدل ارائه شده است که عموما با استفاده از دیاگرام کلاس بازنمایی گردیده و گستره محدودی از مفاهیم و روابط موجود در این حوزه را دربرمی‌گیرند (Kühne, 2006). دیاگرام کلاس در UML به دلیل ضعف ذاتی در معنا، برای توصیف معنایی مفاهیم یک حوزه مناسب نمی‌باشد. در یکی دیگر از پژوهش‌های این حوزه، نقش پایگاه شناخت در تولید نرم‌افزار مورد توجه قرار گرفته است(Bräuer & Lochmann, 2008). در این مقاله از تکنیک‌های وب معنایی به منظور مجتمع‌سازی مدل‌های مختلف استفاده شده است. در پژوهشی دیگر در این حوزه، ارتباط بین متامدل و پایگاه شناخت در مهندسی نرم‌افزار مورد بررسی قرار گرفته است(Henderson-Sellers, 2011). در این پژوهش سعی شده است که پژوهش‌های حوزه‌ی متامدل و پایگاه شناخت مورد بررسی قرار گیرد تا امکان بهره‌گیری از مزایای هر دو حوزه در تولید نرم‌افزار فراهم شود.

---

[1] Artifacts
[2] An ontology

در یکی دیگر از پژوهش‌های این حوزه سعی شده است که فعالیت‌های انجام شده در خصوص کاربرد پایگاه شناخت در حوزه نرم‌افزار به طور جامع معرفی گردد(Bhatia et al., 2016). اما در این مقاله اشاره‌ای به وجود یک پایگاه شناخت برای مفاهیم موجود حوزه مدل‌های نرم‌افزاری نشده است.

ادبیات تحقیق

در این بخش در ابتدا به معرفی اجمالی پایگاه شناخت می‌پردازیم. سپس یک متدولوژی برای ایجاد پایگاه شناخت با عنوان متآنتولوژی معرفی می‌گردد.

۳-۱- پایگاه شناخت

پرارجاع‌ترین تعریف مربوط به پایگاه شناخت در سال ۱۹۹۸ و توسط Studer ارائه شد: «پایگاه شناخت یک توصیف صریح[۱] و صوری[۲] از یک مفهوم‌سازی[۳] اشتراکی است» (Studer et al., 1998). ساختارهای متنوعی برای معرفی اجزای پایگاه شناخت معرفی شده است. در این مقاله از ساختاری با عنوان پایگاه شناخت[۴] استفاده می‌نماییم که بر اساس این ساختار، پایگاه شناخت از مفاهیم، روابط سلسله مراتبی، روابط غیر سلسله مراتبی، اصول[۵] و حوزه[۶] تشکیل شده است(Barforush & Rahnama, 2012).

۳-۲- متآنتولوژی

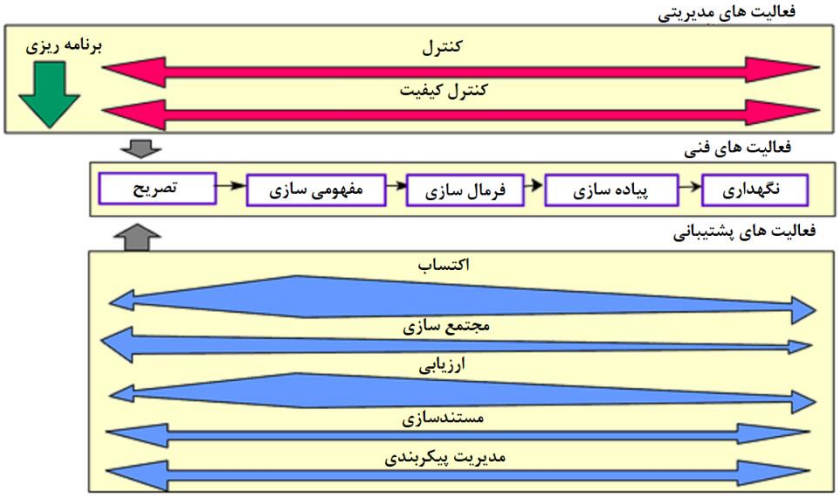
متدولوژی مجموعه‌ای از راهنمایی‌ها برای انجام فعالیت‌های موجود در فرآیند ساخت ارائه می‌دهد و تعیین می‌کند که هر فعالیت چگونه، چه موقع و توسط چه کسی انجام شود و چه تکنیک‌هایی برای انجام آن مناسب‌ترند و محصول هر فعالیت چه خواهد بود. متدولوژی‌های مختلفی برای ایجاد پایگاه شناخت معرفی شده‌اند که از بین آنها متآنتولوژی به‌عنوان یکی از شاخص‌ترین متدولوژی‌ها در این مقاله مورداستفاده قرار گرفته است. این متدولوژی برای ساخت پایگاه شناخت امکان استفاده از پایگاه شناخت‌های موجود را نیز فراهم می‌کند. فعالیت‌های موجود در این متدولوژی به سه دسته مدیریتی، توسعه‌ای و پشتیبانی تقسیم‌بندی می‌شوند. فعالیت‌های مدیریتی شامل کنترل، تضمین کیفیت و زمان‌بندی هستند. فعالیت‌های توسعه‌ای شامل تشریح[۷]، مفهوم‌سازی[۸]، صوری‌سازی[۹]، پیاده‌سازی و نگهداری بوده و فعالیت‌های پشتیبانی نیز شامل اکتساب دانش[۱۰]، یکپارچه‌سازی[۱۱]، ارزیابی، مستندسازی و مدیریت پیکربندی است. مهم‌ترین فعالیت این متدولوژی فعالیت مفهوم‌سازی است که طی یازده گام انجام می‌شود: ساخت فرهنگ واژه‌ها، ایجاد رده‌بندی مفاهیم، ایجاد دیاگرام روابط دودویی، ساخت فرهنگ مفاهیم، تشریح دقیق روابط دودویی، تعریف جزئیات صفات نمونه‌ها، تعریف جزئیات صفات کلاس‌ها، تعریف دقیق محدودیت‌ها، تعریف اصول، تعریف قوانین و تعریف نمونه‌ها (Fernández-López et al., 1997). شکل ۱ فعالیت‌های اصلی این متدولوژی را نمایش می‌دهد.

روش پیشنهادی

در این مقاله از یک رویکرد جدید به‌منظور ایجاد پایگاه شناخت استفاده می‌کنیم. در این رویکرد ابتدا سؤالات شایستگی[۱۲] موردنظر تعریف شده و سپس با استفاده از متدولوژی متآنتولوژی که به‌منظور استفاده در این مقاله تطبیق‌یافته است پایگاه شناخت در حوزه‌ی مدل‌های نرم‌افزاری ایجاد می‌شود. سؤالات شایستگی سؤالاتی هستند که پایگاه شناخت باید بتواند به آنها پاسخ دهد. علاوه بر
این، سؤالات شایستگی محدوده‌ی پایگاه شناخت را تعیین می‌کنند و در فرآیند تصدیق پایگاه شناخت مورداستفاده قرار می‌گیرند.

---

[1] Explicit
[2] Formal
[3] Conceptualization
[4] Cognibase
[5] Axioms
[6] Domain
[7] Specification
[8] Conceptualization
[9] Formalization
[10] Knowledge acquisition
[11] Integration
[12] Competency Questions



شکل ۱: فعالیت‌های اصلی متانتولوژی

در ادامه مرحله‌ی مفهومی‌سازی دامنه بر اساس سؤالات شایستگی انجام می‌شود. بدین منظور واژه‌ها و مفاهیم موجود در این حوزه به همراه رابطه‌های بین آنها استخراج می‌شود. در ادامه مفاهیم موجود در حوزه مدل، جنبه‌های اصلی مدل و انواع مدل‌ها شناسایی شده و یک دسته‌بندی از آنها ارائه می‌شود. در نهایت نیز پایگاه شناخت حوزه مدل با تأکید بر مدل‌های نرم‌افزاری تولید می‌شود.

۴-۱- سؤالات شایستگی

در این بخش برخی از سؤالات شایستگی ارائه می‌شود. این سؤالات موتور محرکه‌ی مرحله‌ی مفهومی‌سازی است و در فرآیند ارزیابی نیز مورداستفاده قرار می‌گیرد. در ادامه هفت نمونه از سؤال‌های شایستگی بیان می‌شود.

- سؤال ۱: انواع جنبه‌های مدل کدامند؟
- سؤال ۲: انواع دسته‌بندی‌های مدل کدامند؟
- سؤال ۳: یک مدل خاص مربوط به کدام دسته‌بندی‌ها است؟
- سؤال ۴: جنبه‌ی مرتبط با یک مدل خاص چیست؟
- سؤال ۵: یک مدل خاص در کدام مرحله‌ی توسعه‌ی نرم‌افزار مورد استفاده قرار می‌گیرد؟
- سؤال ۶: زبان مدل‌سازی مرتبط با یک مدل خاص چیست؟
- سؤال ۷: یک متریک مشخص مربوط به کدام مدل کیفی است؟

۴-۲- مفاهیم حوزه مدل

در این بخش به بررسی مفاهیم موجود در حوزه مدل می‌پردازیم. هدف این بخش ارائه یک تعریف جامع از مفاهیم مرتبط با حوزه مدل نیست. بلکه صرفا قصد داریم که مفاهیم را شناسایی نموده و ارتباط بین این مفاهیم و مدل را شناسایی و رفع ابهام نماییم. مدل در ادبیات مهندسی با تعریف‌های مختلفی ارائه شده است. مولر[1] و همکاران در سال ۲۰۱۲ در یک مقاله، مجموعه‌ای از تعریف‌های مطرح در حوزه مدل را جمع‌آوری نموده‌اند(Muller et al., 2012). این تعریف‌ها مرتبط با برخی از افراد شاخص و سازمان‌های مطرح در حوزه مدل است که به عنوان نمونه می‌توان از افرادی نظیر بزوین[2]، جکسون[3] و سالیک[4] و گروه OMG نام

[1] Muller
[2] Bézivin
[3] Jackson
[4] Salic

برد. مفاهیم مختلفی در تعریف‌های جمع‌آوری شده در مقاله فوق وجود دارد که در ادامه به معرفی آنها می‌پردازیم.

مفهوم «واقعیت[۱]» به همراه واژه‌های هم‌معنی آن نظیر پدیده[۲] و موجودیت به وفور در تعریف‌های ارائه شده در خصوص مدل مشاهده می‌شوند. واقعیت به هر نوع مفهوم قابل مدل‌سازی در دنیای واقع اشاره می‌کنند. مفهوم کلیدی دیگر «سیستم» است که بیانگر مجموعه‌ای از مؤلفه‌ها است که با شیوه‌ای سازماندهی شده همکاری می‌کنند تا یک سری نتایج مطلوب حاصل شود. نوع نگرش به یک سیستم توسط «نقطه دید[۳]» تعیین می‌شود. نقطه دید در واقع نگرانی‌های مدل‌ساز در خصوص شناخت یک سیستم را به چشم‌انداز خاصی از آن سیستم محدود نموده و امکان تمرکز بر روی جنبه مذکور را فراهم می‌نماید. مشاهده یک سیستم از یک نقطه دید مشخص، یک «دید[۴]» از آن سیستم در ذهن مدل‌ساز ایجاد می‌نماید (Barkmeyer et al., 2003). این دید از سیستم، صرفا به صورت انتزاعی در ذهن مدل‌ساز وجود داشته و غیرساخت‌یافته و غیرصوری است. صوری‌سازی آن با ایجاد یک مدل از انتزاع مذکور صورت می‌پذیرد. انتزاع به معنای حذف جزئیات زائد به منظور تمرکز بر ویژگی‌های مورد نظر می‌باشد.

بسیاری از تعریف‌های ارائه شده، مدل را یک انتزاع از پدیده‌های جهان واقع می‌دانند. اما معمولا الزامی به بالاتر بودن درجه انتزاع یک مدل نسبت به سیستم اصلی وجود ندارد. هر مدل توسط یک «زبان مدل‌سازی» تعریف می‌شود که نحو و معنای این زبان توسط «متا مدل» توصیف می‌شود. متا مدل دارای رابطه «مطابقت[۵]» با مدل است. این رابطه بدین معنی است که یک مدل با ساختاری که توسط متا مدل تعریف شده ایجاد می‌شود (Bézivin, 2005). هر مدل به منظور قابل لمس شدن توسط ذینفعان «توصیف[۶]» می‌شود. این توصیف می‌تواند به صورت گرافیکی یا متنی باشد(Machado et al., 2005). سیستم‌ها به طور کلی به دو دسته ایستا و پویا تقسیم‌بندی می‌شوند. متناظر با این دو نوع سیستم، مدل‌های ایستا و پویا وجود دارند که مدل‌های پویا در حوزه مدل‌سازی با عنوان «شبیه‌ساز[۷]» شناخته شده که در «شبیه‌سازی» سیستم‌های پویا مورد استفاده قرار می‌گیرند. آخرین مفهومی که در این بخش مورد بررسی قرار می‌گیرد «فرمالیزم» است. زبانهای مدل‌سازی برای توصیف مدل نیازمند یک ساختار ریاضی یا الگوریتمی هستند که به این ساختار فرمالیزم گفته می‌شود. یکی از رایج‌ترین فرمالیزم‌ها درحوزه مدل، گراف می‌باشد. فرمالیزم‌های متفاوت قابلیت‌های مدل‌سازی مختلفی دارند.

۴-۳- جنبه‌های مدل

در این بخش به معرفی جنبه‌های[۸] اصلی مدل‌سازی یک سیستم می‌پردازیم. بر اساس اینکه چه چشم‌اندازی از سیستم مد نظر باشد مدل‌های مختلفی را می‌توان بر اساس نیاز ایجاد نمود. به طور سنتی سیستم‌ها را از سه جنبه ساختاری، رفتاری و کارکردی مدل‌سازی می‌کنند. در جنبه ساختاری تمرکز اصلی بر روی ساختار ایستای سیستم می‌باشد. مهمترین مفهوم در این جنبه از مدل‌سازی موجودیت می‌باشد که می‌تواند شیء، پدیده یا مفهوم باشد. در جنبه رفتاری تمرکز اصلی بر روی توصیف تغییرات سیستم می‌باشد. مفهوم اصلی در این جنبه از مدل‌سازی حالت‌ها و انتقال بین حالت‌ها می‌باشد. در جنبه کارکردی تمرکز اصلی بر روی توصیف فرآیند دینامیک می‌باشد. مفهوم اصلی در این جنبه از مدل‌سازی فرآیند است که می‌تواند یک تابع، فعالیت، کنش یا وظیفه باشد. سیستم‌ها از جنبه‌های دیگری نظیر نوع نقش[۹] و ارتباط نیز مدل‌سازی می‌شوند که اهمیت این جنبه‌ها به اندازه سه جنبه فوق نیست(Rosenthal et al., 2022). لذا در ساختاردهی به این مفاهیم از سه مورد اول با عنوان جنبه‌های اصلی و از بقیه با عنوان جنبه‌های فرعی یاد خواهیم نمود.

۴-۴- انواع دسته‌بندی مدل

دسته‌بندی‌های فراوانی در کتاب‌ها و مقاله‌ها در خصوص انواع مدل‌ها موجود است. ما در این بخش از سه مرجع اصلی برای معرفی دسته‌بندی‌های موجود در حوزه مدل استفاده نموده‌ایم(Vogel et al., 2010) (Bézivin, 2009) (Sargent, 2015).

---

[1] Reality
[2] Phenomena
[3] View Point
[4] View
[5] Conformance
[6] Specify
[7] Simulator
[8] Aspects
[9] Role

هر یک از این مراجع بخشی از دسته‌بندی پیشنهادی را مورد پوشش قرار داده‌اند. در ابتدا به معرفی دسته‌بندی‌های عمومی می‌پرداریم و سپس برخی از انواع مدل‌های مرتبط با حوزه نرم‌افزار معرفی می‌گردند. اولین دسته‌بندی مدل‌ها را به دو نوع تجویزی[۱] و توصیفی[۲] تقسیم می‌نماید. مدل تجویزی مدلی است که بر اساس آن می‌خواهیم یک سیستم را ایجاد نماییم و در واقع، یک نقشه برای سیستمی که در حال حاضر وجود خارجی ندارد پیشنهاد می‌کند. به عنوان مثال نقشه یک ساختمان نمونه‌ای از این نوع مدل است که ساختمان بر اساس آن ساخته می‌شود. مدل توصیفی مدلی است که یک سیستم موجود را توصیف می‌کند. به عنوان مثال وقتی که فرآیندهای یک سازمان توسط یک مدل کسب و کار[۳] مدل‌سازی می‌شوند در واقع یک سیستم موجود را توسط مدل توصیفی مدل‌سازی نموده‌ایم.

دسته‌بندی دیگر مدل‌ها را به دو نوع انتزاعی و محسوس[۴] تقسیم می‌نماید. مدل‌های انتزاعی که با نام مدل‌های نمادی[۵] نیز شناخته می‌شوند مدل‌هایی هستند که از نماد و منطق برای ساخت مدل بهره می‌برند. نمادهای مورد استفاده برای ساخت مدل می‌توانند از نمادهای مرتبط به یک زبان خاص و یا از نمادهای ریاضی باشند. اگر نمادهای مورد استفاده از نمادهای ریاضی باشند مدل مربوطه یک مدل ریاضی است. در غیر اینصورت مدل غیرریاضی می‌باشد. مدل‌های محسوس که با نام مدل‌های فیزیکی یا مدل‌های شمایلی[۶] نیز شناخته می‌شود مدل‌هایی هستند که در مقیاسی کوچک‌تر و محدودتر از سیستم اصلی ساخته می‌شوند. این مدل‌ها در واقع یک نسخه فیزیکی از نمونه اصلی هستند و به دلیل شباهتی که به نمونه اصلی دارند از مدل‌های انتزاعی ملموس‌ترند. ماکت‌ها نوعی مدل فیزیکی هستند که ساخت آنها معمولا نسبت به مدل‌های انتزاعی گران‌تر بوده و زمان بیشتری برای ساخت نیاز دارند. مدل محسوس می‌تواند نمونه بزرگ شده یا کوچک شده از سیستم اصلی باشد. به عنوان نمونه ماکت هواپیما یک مدل کوچک شده از هواپیما است و ماکت اتم یک مدل بزرگ شده نسبت به اتم می‌باشد.

مدل‌های ایستا و پویا دسته‌بندی دیگری از انواع مدل می‌باشند. مدل ایستا مدلی است که با گذشت زمان تغییری در آن به وجود نمی‌آید. در واقع در این نوع مدل موجودیت‌های مدل و روابط بین آنها در طول زمان ثابت هستند. به عنوان مثالی از این نوع مدل می‌توان به مدل معماری یک خانه اشاره نمود. چنین مدلی در واقع یک مدل ایستای محسوس (فیزیکی) از یک خانه می‌باشد که امکان تجسم خانه مذکور را فراهم می‌نماید. از طرف دیگر یک معادله که رابطه بین درازا و وزن هر یک از سمت‌های یک الاکلنگ را تعیین می‌نماید نمونه‌ای از مدل ایستای انتزاعی (ریاضی) می‌باشد. مدل پویا مدلی است که در خلال زمان تغییر می‌کند. به عنوان مثال یک تونل باد که ویژگی‌های آیرودینامیکی یک طراحی پیشنهادی از یک هواپیما را نمایش می‌دهد نمونه‌ای از مدل پویای فیزیکی می‌باشد. از طرف دیگر، معادله حرکت سیارات به دور خورشید یک مدل پویای ریاضی می‌باشد.

دسته‌بندی بعدی مدل‌ها را به دو دسته فیزیکی و ذهنی[۷] تقسیم می‌نماید. مدل ذهنی یکی از مهمترین انواع مدل است که هر شخصی برای انجام تصمیم‌گیری در زندگی روزمره از آن استفاده می‌کند. مدل فیزیکی نیز مدلی است که به منظور ارتقای مدل‌های ذهنی ایجاد می‌گردد. در واقع مدل فیزیکی نمونه‌ای از یک شیء یا دستگاه است که می‌تواند در مقیاس کوچکتر یا بزرگتر از شیء یا دستگاه اصلی ساخته شود. مدل‌های پدیده و مدل‌های تئوری نوع دیگری از مدل‌ها هستند. یک مدل می‌تواند بخش انتخاب شده‌ای از سیستم هدف را بازنمایی کند. چنین مدل‌هایی بر اساس ماهیت سیستم هدف می‌توانند مدل‌های پدیده یا مدل‌های داده باشند. از طرف دیگر یک مدل می‌تواند یک نظریه را بازنمایی کند بدین معنا که قوانین و اصول آن نظریه را تفسیر نماید. این دو مفهوم با یکدیگر ناسازگار نیستند و مدل‌ها می‌توانند در یک زمان بازنمایی‌هائی به هر دو شکل گفته شده باشند. بسیاری از مدل‌های علمی یک پدیده طبیعی را بازنمایی می‌کنند. مدل‌های ریاضی و غیرریاضی از منظر دیگری مدل‌ها را دسته‌بندی

می‌کنند. مدل ریاضی مدلی است که از نمادهای ریاضی بهره می‌برد. هر مدل ریاضی می‌تواند ایستا یا پویا، خطی یا غیر خطی،

---

[1] Prescriptive
[2] Descriptive
[3] Business
[4] Concrete
[5] Symbolic
[6] Iconic
[7] Mental

عددی یا تحلیلی، پایدار[۱] یا ناپایدار و پایا[۲] یا گذرا[۳] باشد. مدل‌های غیر ریاضی نیز به سه دسته نموداری[۴]، گرافیکی و زبانی[۵] تقسیم‌بندی می‌شوند. در مدل‌های زبانی، توصیف، تشریح و تفهیم مسئله با استفاده از بیان و تعریف آن و از طریق ایجاد یک فضای مشابه در ذهن شنونده صورت می‌پذیرد. در مدل‌های گرافیکی از تصاویر به عنواد نماد استفاده می‌شود. این تصاویر می‌توانند عکس، نقاشی یا انیمیشن باشند. در مدل‌های نموداری از نمادهای خاص که بیانگر مفاهیم مشخصی در ذهن بیننده می‌باشند استفاده می‌شود. به عنوان نمونه می‌توان از تابلوهای راهنمایی و رانندگی و چراغ‌های اخطار نام برد.

دسته‌بندی بعدی مربوط به مدل‌های قطعی[۶] و تصادفی[۷] می‌باشد(Mohd, 2022). مدل قطعی مدلی است که تمام داده‌های مرتبط با آن با قطعیت شناخته شده هستند. این نوع مدل‌ها برای مدل‌سازی مسائل مدیریتی مناسب‌اند. در مقابل مدل تصادفی مدلی است که برخی از ورودی‌های مدل با قطعیت شناخته شده نیست. این نوع مدل‌ها برای اخذ تصمیم‌های راهبردی در سازمان‌ها استفاده می‌شوند. مدل‌های صوری[۸] و غیر صوری نوع دیگری از انواع مدل هستند(Liu et al., 2022). هر نوع بازنمایی از یک سیستم را می‌توانیم یک مدل از آن سیستم بدانیم. اما اگر یک توافق رسمی بر روی معانی اجزای مدل وجود نداشته باشد امکان وجود ابهام و برداشت‌های مختلف از مدل وجود دارد. لذا مدل‌های صوری می‌بایست توسط یک زبان مدل‌سازی با نحو و معنای تعریف شده بازنمایی شوند. در غیر اینصورت مدل را غیرصوری می‌دانیم.

دسته‌بندی‌های ارائه شده فوق عمومی بوده و در اکثر حوزه‌های علمی و مهندسی مورد استفاده می‌باشند. در ادامه برخی از دسته‌بندی‌های شاخص در حوزه نرم‌افزار را معرفی می‌نماییم. اولین دسته بندی که در اینجا معرفی می‌شود مربوط به مدل‌های مسئله و راه‌حل می‌باشد. تفاوت کلیدی بین این دو مدل در تفاوت بین دو واژه چه[۹] و چگونه[۱۰] نهفته است. مدل‌های مرتبط با حوزه مسئله بدون توجه به نحوه پیاده‌سازی و نوع راه‌حل، مفاهیم موجود در حوزه مسئله را از دید مورد نظر تحلیل‌گر مدل می‌کنند. اما مدل‌های راه‌حل، چگونگی حل مسئله را با توجه به زاویه دید طراح مدل می‌کنند.

دسته‌بندی دیگر مربوط به مدل‌های محصول[۱۱] و فرآیند می‌باشد. مدل‌های فرآیند، فعالیت‌های لازم در خلال تولید محصول را مدل‌سازی می‌نمایند. مدل محصول مشخصات محصول را از یک نقطه دید مشخص مدل‌سازی می‌نماید. مدل‌های توسعه[۱۲] و مدل‌های زمان اجرا[۱۳] نوع دیگری از مدل‌های نرم‌افزاری هستند. مدل‌های توسعه در خلال فرآیند ایجاد یک نرم‌افزار مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مدل‌ها با سطوح انتزاع مختلف از مدل‌های کسب و کار و نیازمندی شروع شده و با مدل‌های معماری، طراحی، پیاده‌سازی و استقرار به کد ختم می‌شوند. در مقابل، مدل‌های زمان اجرا قرار دارند که به منظور پایش یا تحلیل رفتار سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در چارچوب معماری مدل‌رانه[۱۴]، مدل‌ها را به سه دسته مستقل از محاسبه[۱۵]، مستقل از سکو[۱۶] و وابسته به سکو[۱۷] تقسیم‌بندی می‌کنند که با نام‌های اختصاری CIM، PIM و PSM شناخته می‌شوند(Mashkoor et al., 2022). مدل‌های CIM مدل‌های انتزاعی هستند که مرتبط با نیازمندی‌های سیستم یا فضای کسب و کار طراحی شده‌اند. مدل PIM بر روی عملکرد سیستم تاکید دارد و جزئیات پیاده‌سازی روی یک سکوی خاص در آن مخفی شده است. مدل PSM جزئیات پیاده‌سازی بر روی یک سکوی خاص را
به مدل PIM اضافه می‌کند. یکی دیگر از مطرح‌ترین انواع مدل در حوزه نرم‌افزار مدل‌های کیفی هستند(Ali et al., 2022).

---

[1] Stable
[2] Steady-State
[3] Transient
[4] Schematic
[5] Linguistic
[6] Deterministic
[7] Stochastic
[8] Formal
[9] What
[10] How
[11] Product
[12] Development
[13] Runtime
[14] Model Driven
[15] Computation Independent Model
[16] Platform Independent Model
[17] Platform Specific Model

مدلی با هدف توصیف، ارزیابی یا پیش‌بینی کیفیت یک سیستم یا نرم‌افزار را مدل کیفی گویند. یک مدل کیفی شامل فاکتورهای کیفی، معیارهای کیفی و متریک‌ها می‌باشد. مدل‌هایی نظیر مک‌کال[۱]، بوهم[۲]، درومی[۳] یا FURPS در این دسته قرار می‌گیرند.

۴-۵- ایجاد پایگاه شناخت مدل

اولین گام برای ایجاد پایگاه شناخت بر اساس متآنتولوژی، ایجاد فرهنگ واژه‌های موجود در حوزه مدل است. این فرهنگ واژه شامل شرح مختصری از هر واژه به زبان طبیعی به همراه واژه‌های مترادف[۴] آن، سرنام[۵] واژه مذکور در صورت وجود و نوع واژه می‌باشد. جدول ۱ بخشی از فرهنگ واژه‌های مربوط به این حوزه را نمایش می‌دهد. برای یافتن مقادیر مترادف و شرح مرتبط با واژگان این حوزه، از ویکیپدیا و وردنت استفاده شده است. تصمیم‌گیری در خصوص نوع هر واژه توسط افراد خبره در این حوزه انجام می‌شود. گام دوم ایجاد رده‌بندی مفاهیم است که طی آن روابط سلسله مراتبی ایجاد می‌گردند. رابطه سلسله مراتبی، رده بندی یا IS_A به معنای رابطه پدر و فرزندی بین دو مفهوم است که در این نوع رابطه فرزند تمام ویژگی‌های پدر را داراست و ممکن است دارای ویژگی‌های خاص خود نیز باشد.

جدول ۱ : بخشی از فرهنگ واژه‌های مرتبط به حوزه مدل

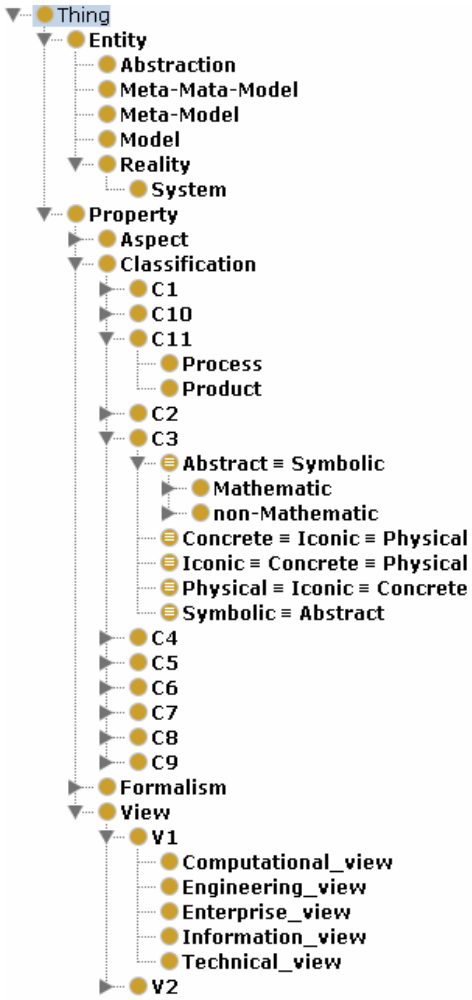
نام	مترادف‌ها	اختصار	توصیف	نوع
Reality	Phenomena	-	Anything in the real world	Concept
View	Eyeshot	-	A particular manner of looking at something	Concept
Meta-Model	-	MM	A model that defines the language for expressing a model	Concept
Descriptive Model	-	-	Anything that shows how things work	Concept
Platform Independent Model	-	PIM	A model that is independent of the specific technological	Concept
represented-By	-	-	An abstraction is represented by a model	Relation
conform-To	Specify	-	A model always conforms to a unique meta-model	Relation
Dromey	-	-	An instance of a quality model	Instance
Meta Object Facility	-	MOF	A meta-meat-model at the top layer of OMG 4 layer architecture	Instance

شکل ۲ بخشی از نمودار سلسله‌مراتبی بین مفاهیم را در ساختار پایگاه شناخت نهایی نمایش می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود کلیه مفاهیم موجود در این حوزه ذیل دو مفهوم Entity و Property دسته‌بندی شده‌اند. منطق این نوع دسته‌بندی به ماهیت مدل‌های ساختاری مرتبط است که از دو جزء اصلی موجودیت و ویژگی تشکیل شده‌اند و هر پدیده‌ای را می‌توان در ذیل

---

[1] McCall
[2] Boehm
[3] Dromey
[4] Synonym
[5] Acronym

این دو مفهوم قرار داد. با توجه به دسته‌بندی‌های انجام شده در بخش ۴-۳، انواع دسته‌بندی مدل‌ها با برچسب‌های C1 تا C12 ذیل مفهوم Classification که دارای رابطه IS_A با Property است تعریف شده‌اند. به عنوان نمونه، برچسب C11 بیانگر یک نوع دسته‌بندی از مدل‌ها به Process و Product است.



شکل ۲ : بخشی از سلسله مراتب دسته‌بندی مدل‌ها

علاوه بر روابط رده‌بندی فوق که با هدف دسته‌بندی مدل‌ها ایجاد شده‌اند، روابط رده‌بندی دیگری نیز بین مفاهیمی نظیر System و Reality ایجاد شده است که روابط بین مفاهیم اصلی موجود در حوزه مدل را نمایش می‌دهد و در بخش ۴-۱ معرفی شده‌اند. در گام سوم و پس از ایجاد و ارزیابی روابط سلسله‌مراتبی بین مفاهیم، روابط دودویی بین مفاهیم ایجاد می‌گردد. هدف از این گام برقراری روابط غیر رده‌بندی بین مفاهیم موجود در سلسله مراتب تعریف شده در گام قبل است. بخشی از این نوع روابط در جدول ۲ نمایش داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود برای هر رابطه دودویی، مفاهیم مبدا و مقصد به همراه چندی[1] و رابطه معکوس در یک جدول توصیف می‌شوند. الزامی وجود ندارد که تمامی روابط دارای رابطه معکوس باشند.

[1] Cardinality

جدول ۲ : بخشی از روابط غیر سلسله مراتبی

نام رابطه	مفهوم مبدا	کاردینالیتی مبدا	مفهوم مقصد	رابطه معکوس
represented-By	Abstraction	N	Model	represent
conform-To	Model	N	Meta-Model	-
define	Meta-Model	1	Language	defined-By
Instance-Of	Model	N	Language	useTo-
has-View	Model	N	View	is-view-Of
has-Classify	Model	N	Classification	classify

در گام چهارم با تعیین ویژگی‌ها و نمونه‌های مورد نیاز برای هر یک از مفاهیم موجود در رده‌بندی، لغت‌نامه مفاهیم ایجاد می‌شود. در گام پنجم روابط غیر سلسله مراتبی استخراج شده در گام سوم به طور دقیق تشریح شده و نام رابطه، مفاهیم مبدا و مقصد، چندی رابطه، رابطه معکوس و ویژگی‌های ریاضی هر رابطه تعیین می‌شوند. در گام ششم، جزئیات صفات نمونه‌ها تعریف می‌شوند. صفات نمونه صفاتی هستند که مقادیرشان برای هر نمونه از یک مفهوم متفاوت باشد. برای هر صفت نمونه، نام صفت، مفهومی که صفت به آن تعلق دارد، نوع مقدار صفت، واحد اندازه‌گیری، دقت و بازه مقادیر، مقادیر پیش فرض و در صورت وجود چندی آنها مشخص می‌شود. در گام هفتم به همین شکل جزئیات صفات کلاس‌ها تعیین می‌گردند. صفات کلاس مقادیرشان را در کلاسی که تعریف می‌شوند می‌گیرند. در گام هشتم در صورت وجود ثابت‌ها را به طور دقیق تعریف می‌نماییم.

در گام‌های نهم و دهم اصول قواعد مرتبط با پایگاه شناخت تعریف می‌شوند. با افزودن اصول و قواعد، امکان استنتاج بر روی داده‌های موجود و به‌تبع آن تولید سه‌گانه‌های جدید RDF وجود دارد. این سه‌گانه‌های جدید امکان غنی‌تر شدن پایگاه شناخت را در طول زمان فراهم می‌کنند. جدول ۳ یکی از قواعد تعریف شده به زبان SWRL را نمایش می‌دهد. بر اساس این قاعده، اگر بین دو مفهوم a و b رابطه‌ی پدر و فرزندی وجود داشته باشد، و مفهومی نظیر a1 همنوع با مفهوم a باشد، این مفهوم به عنوان یک مفهوم همنوع با b نیز شناخته خواهد شد.

جدول۳ – یک قاعده به زبان SWRL

```
[rule1:  (?a rdfs:subClassOf ?b), (?a1 rdf:type ?a) -> (?a1 rdf:type ?b)]
```

در آخرین گام از متدولوژی نمونه‌ها تعریف می‌شوند. به عنوان مثال، یک نمونه به نام «Dromey» به عنوان یکی از نمونه‌های مدل‌های کیفی در جدول ۲ نمایش داده شده است.

ارزیابی

روش‌های شاخص ارزیابی پایگاه شناخت شامل مقایسه با استاندارد طلایی، به‌کارگیری در یک کاربرد و ارزیابی توسط فرد خبره است. عدم وجود استاندارد طلایی در این حوزه استفاده از این روش را منتفی می‌نماید. کاربردهای فراوانی برای به‌کارگیری این پایگاه شناخت می‌توان متصور شد. اما در این مقاله فرآیند ارزیابی توسط افراد خبره و بر اساس سؤالات شایستگی صورت‌گرفته است. بدین منظور برای هر یک از سؤالات شایستگی یک پرس‌وجوی اسپارکل تعریف می‌شود که با اجرای آن توانایی پاسخگویی پایگاه شناخت مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

جدول ۴- چند نمونه پرس‌وجوی اسپارکل مرتبط به سؤالات شایستگی

سؤال شایستگی	پرس‌وجوی اسپارکل

سؤال شایستگی ۱	PREFIX mo: <http://ssau.edu/modelOntology#>
	SELECT ?ma
	WHERE {
	?ma a mo:Aspect .
	}

سؤال شایستگی ۲	PREFIX mo: <http://ssau.edu/modelOntology#>
	SELECT ?mc
	WHERE {
	?mc a mo:Classification .
	}

سؤال شایستگی ۳	PREFIX mo: <http://ssau.edu/modelOntology#>
	SELECT ?c
	WHERE {
	?m a mo:Model;
	mo:hasClassify ?c ;
	}

جدول ۵ نتایج حاصل از اجرای پرس‌وجوهای اسپارکل بر روی پایگاه شناخت مدل را نمایش می‌دهد. این نتایج توسط سه نفر خبره در حوزه‌ی مدل‌های نرم‌افزاری (دو نفر دکتری نرم‌افزار و یک نفر دکتری هوش مصنوعی) مورد ارزیابی قرار گرفته است.

جدول ۵- نتایج ارزیابی

سوال شایستگی	توانایی پایگاه شناخت در پاسخگویی به سوال	ارزیابی فرد خبره			
		عالی	خوب	متوسط	ضعیف
سوال شایستگی ۱	■	۲	۱	۰	۰
سوال شایستگی ۲	■	۱	۲	۰	۰
سوال شایستگی ۳	■	۳	۰	۰	۰
سوال شایستگی ۴	■	۳	۰	۰	۰
سوال شایستگی ۵	■	۲	۱	۰	۰
سوال شایستگی ۶	■	۳	۰	۰	۰
سوال شایستگی ۷	■	۳	۰	۰	۰

بحث

بررسی نتایج بدست آمده از ارزیابی نشان می‌دهد که پایگاه شناخت ایجاد شده در حوزه‌ی مدل‌های نرم‌افزاری توانایی پاسخ به سوالات شایستگی مطرح شده به عنوان نیازمندهای این پایگاه شناخت را دارد. از طرف دیگر، ارزیابی نتایج بدست آمده توسط افراد خبره در این حوزه بیاگر این واقعیت است که این پایگاه شناخت نتایج قابل قبولی ارائه نموده است.

ایجاد پایگاه شناخت بر اساس یک متدولوژی آزموده شده نظیر متانتولوژی احتمال وقوع خطا را کاهش داده و امکان اعتبارسنجی و ارزیابی را در حین فرآیند ایجاد فراهم می‌نماید. این امکان از طریق فعالیت مدیریتی نظیر تضمین کیفیت و فعالیت پشتیبانی نظیر ارزیابی فراهم می‌شود. انجام مراحل توسعه به صورت افزایشی و تکراری این امکان را فراهم می‌نماید که امکان انجام تغییرات در هر مرحله از متدولوژی امکان‌پذیر باشد. یکی از فعالیتهایی که می‌تواند تاثیر زیادی بر کیفیت پایگاه شناخت تولید شده داشته باشد اکتساب دانش موجود در حوزه مورد نظر می‌باشد. کیفیت انجام این فعالیت که جزء فعالیت‌های پشتیبانی در متدولوژی متانتولوژی می‌باشد تعیین کننده میزان غنای مفاهیم جمع‌آوری شده در حوزه مورد نظر می‌باشد. همانگونه که در بخش روش تحقیق ذکر شد در این مقاله، منابع مورد استفاده در فعالیت اکتساب دانش طبق یک روش تحقیق نظام‌مند جمع‌آوری شده است که با دقت بالایی شامل اکثر منابع شاخص موجود در این حوزه می‌باشد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این مقاله، یک پایگاه شناخت برای توصیف معنایی مفاهیم موجود در حوزه مدل‌های نرم‌افزاری ایجاد شد. واژه‌های موجود در این حوزه از منابع شاخص مرتبط به حوزه مدل بازیابی و پایگاه شناخت این حوزه بر اساس متدولوژی متآنتولوژی گام به گام نهایی شد. در این مقاله برای اولین بار یک ساختار معنایی غیر مبهم از مفاهیم موجود در این حوزه و به ویژه سلسله‌مراتبی از انواع مدل‌ها ارائه شد. با توجه به اینکه متدولوژی مورد استفاده در این مقاله استفاده از پایگاه شناخت‌های موجود را ترغیب می‌نماید یکی از کارهای آینده، توسعه این پایگاه شناخت از طریق نگاشت مفاهیم موجود در آن به پایگاه شناخت‌های پایه نظیر DOLCE یا CYC خواهد بود. همچنین استفاده از ابزارهای خودکار و نیمه خودکار در حوزه یادگیری پایگاه شناخت می‌تواند در کنار دانش فرد خبره کیفیت محصول نهایی را ارتقاء بخشد. افزودن قواعد و اصول به این پایگاه شناخت می‌تواند امکان استدلال کامل در این حوزه را فراهم کند. بکارگیری این پایگاه شناخت در کاربردهای حوزه نرم‌افزارهای دفاعی و ارزیابی آن نیز جزء پیشنهادات مطرح برای پژوهش‌های آتی است. برای اینکه هوش مصنوعی بتواند در حوزه‌های حساسی مانند حوزه دفاعی مفید باشد نیازمند شناسایی، مستندسازی و یکپارچه‌سازی بین سامانه‌های نرم‌افزاری است که زیرساخت آن توسط پایگاه شناخت فراهم می‌شود. از طرف دیگر، گسترش پایگاه شناخت در حوزه‌های نظامی و دفاعی امکان بکارگیری اکوسیستم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی نظیر متاورس را تسهیل می‌نماید.

منابع

Ali, M. A., Yap, N. K., Ghani, A. A. A., Zulzalil, H., Admodisastro, N. I., & Najafabadi, A. A. (2022). A Systematic Mapping of Quality Models for AI Systems, Software and Components. Applied Sciences, 12(17), Art. 17. https://doi.org/10.3390/app12178700

Barforush, A. A., & Rahnama, A. (2012). Ontology learning: Revisted. Journal of Web Engineering, 269–289.

Barkmeyer, E. J., Feeney, A. B., Denno, P., Flater, D. W., Libes, D. E., Steves, M. P., & Wallace, E. K. (2003). Concepts for automating systems integration. National Institute of Standards and Technology, NISTIR, 6928.

Bézivin, J. (2005). On the unification power of models. Software & Systems Modeling, 4(2), 171–188.

Bézivin, J. (2009). Advances in Model Driven Engineering. JISBD, 3.

Bhatia, M. P. S., Kumar, A., & Beniwal, R. (2016). Ontologies for software engineering: Past, present and future. Indian Journal of Science and Technology, 9(9), 1–16.

Bräuer, M., & Lochmann, H. (2008). An Ontology for Software Models and Its Practical Implications for Semantic Web Reasoning. In S. Bechhofer, M. Hauswirth, J. Hoffmann, & M. Koubarakis (Eds.), The Semantic Web: Research and Applications (pp. 34–48). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-68234-9_6

Fernández-López, M., Gómez-Pérez, A., & Juristo, N. (1997). Methontology: From ontological art towards ontological engineering.

Henderson-Sellers, B. (2011). Bridging metamodels and ontologies in software engineering. Journal of Systems and Software, 84(2), 301–313.

Kühne, T. (2006). Matters of (meta-) modeling. Software & Systems Modeling, 5(4), 369–385.

Liu, H., Wang, X., & Wang, W. (2022). An Approach to Constructing Formal Model for Product Families. 2022 3rd International Informatics and Software Engineering Conference (IISEC), 1–6. https://doi.org/10.1109/IISEC56263.2022.9998313

Machado, R. J., Ramos, I., & Fernandes, J. M. (2005). Specification of requirements models. In Engineering and managing software requirements (pp. 47–68). Springer.

Mashkoor, A., Egyed, A., Wille, R., & Stock, S. (2022). Model-driven engineering of safety and security software systems: A systematic mapping study and future research directions. Journal of Software: Evolution and Process, e2457.

Mohd, M. H. (2022). Revisiting discrepancies between stochastic agent-based and deterministic models. Community Ecology, 23(3), 453–468. https://doi.org/10.1007/s42974-022-00118-2

Muller, P.-A., Fondement, F., Baudry, B., & Combemale, B. (2012). Modeling modeling modeling. Software & Systems Modeling, 11(3), 347–359. https://doi.org/10.1007/s10270-010-0172-x

Rosenthal, K., Strecker, S., & Snoeck, M. (2022). Modeling difficulties in creating conceptual data models. Software and Systems Modeling. https://doi.org/10.1007/s10270-022-01051-8

Rothenberg, J., Widman, L. E., Loparo, K. A., & Nielsen, N. R. (1989). The nature of modeling. In Artificia

Intelligence, Simulation and Modeling.
Ruiz, F., & Hilera, J. R. (2006). Using Ontologies in Software Engineering and Technology. In C. Calero, F. Ruiz, & M. Piattini (Eds.), Ontologies for Software Engineering and Software Technology (pp. 49–102). Springer. https://doi.org/10.1007/3-540-34518-3_2
Sargent, R. G. (2015). Types of Models. In Modeling and Simulation in the Systems Engineering Life Cycle (pp. 51–55). Springer.
Studer, R., Benjamins, V. R., & Fensel, D. (1998). Knowledge engineering: Principles and methods. Data & Knowledge Engineering, 25(1–2), 161–197.
Vogel, T., Seibel, A., & Giese, H. (2010). The role of models and megamodels at runtime. International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems, 224–238.