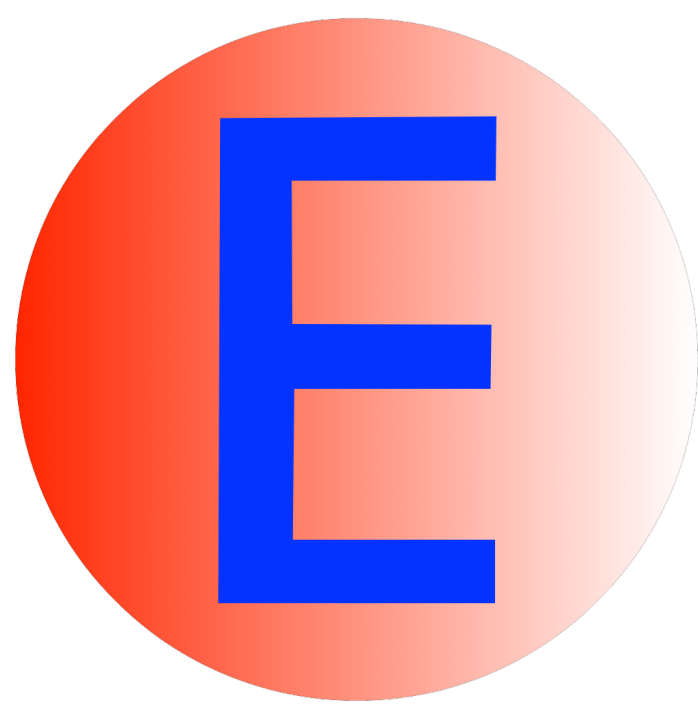


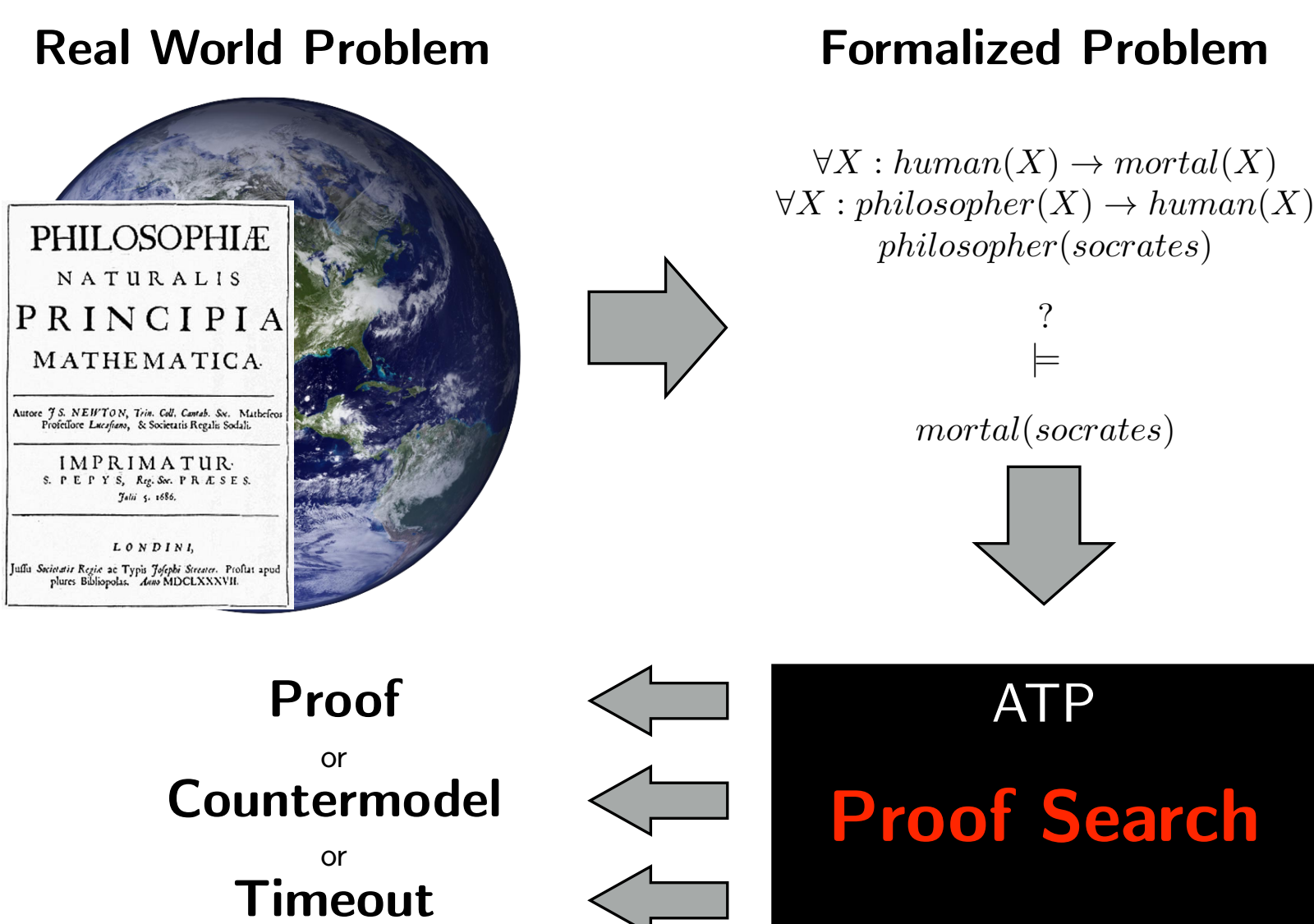
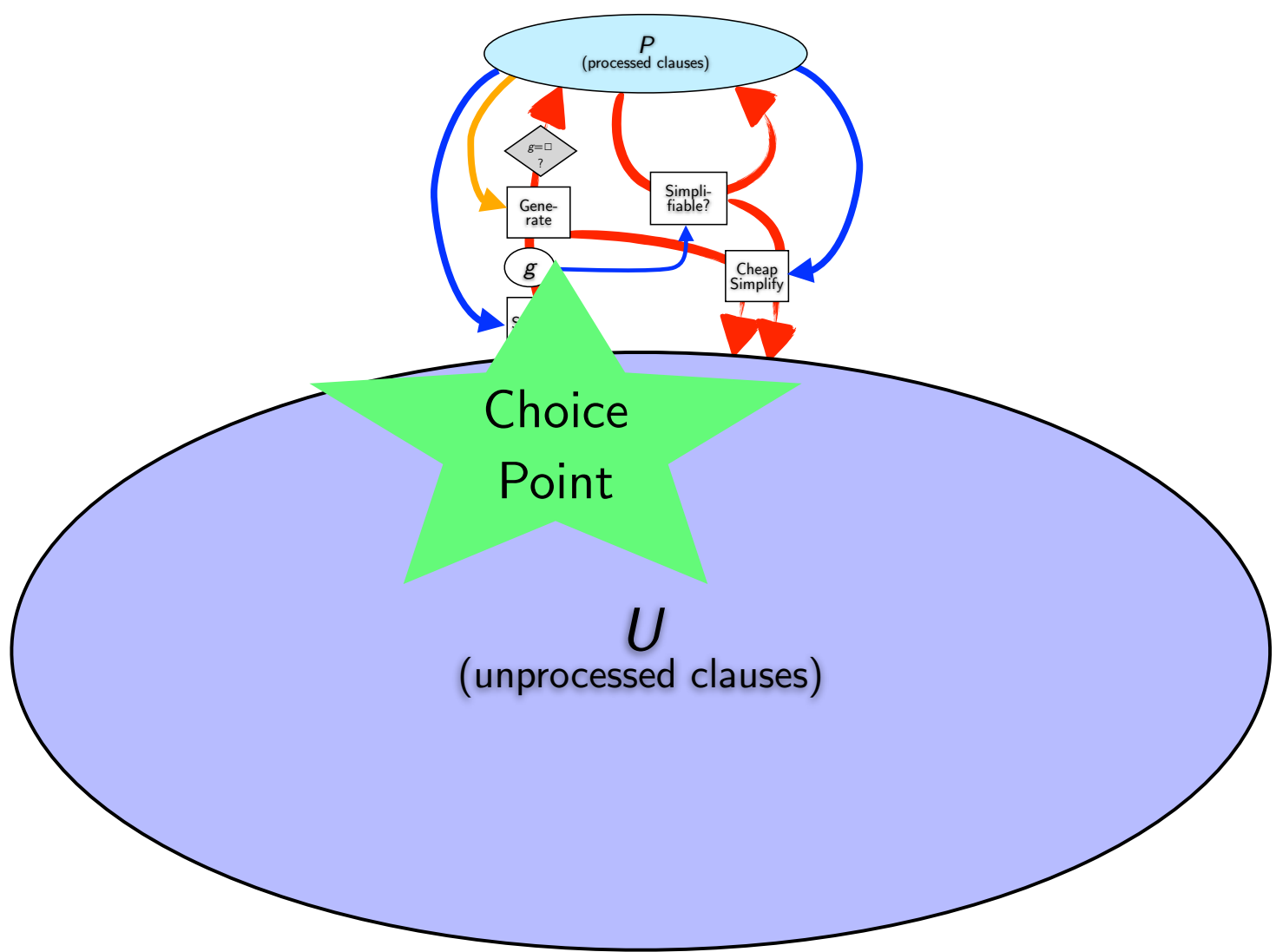
Theorem Proving as Hybrid AI - towards E 3.0

Professor Dr. Stephan Schulz, Informatik



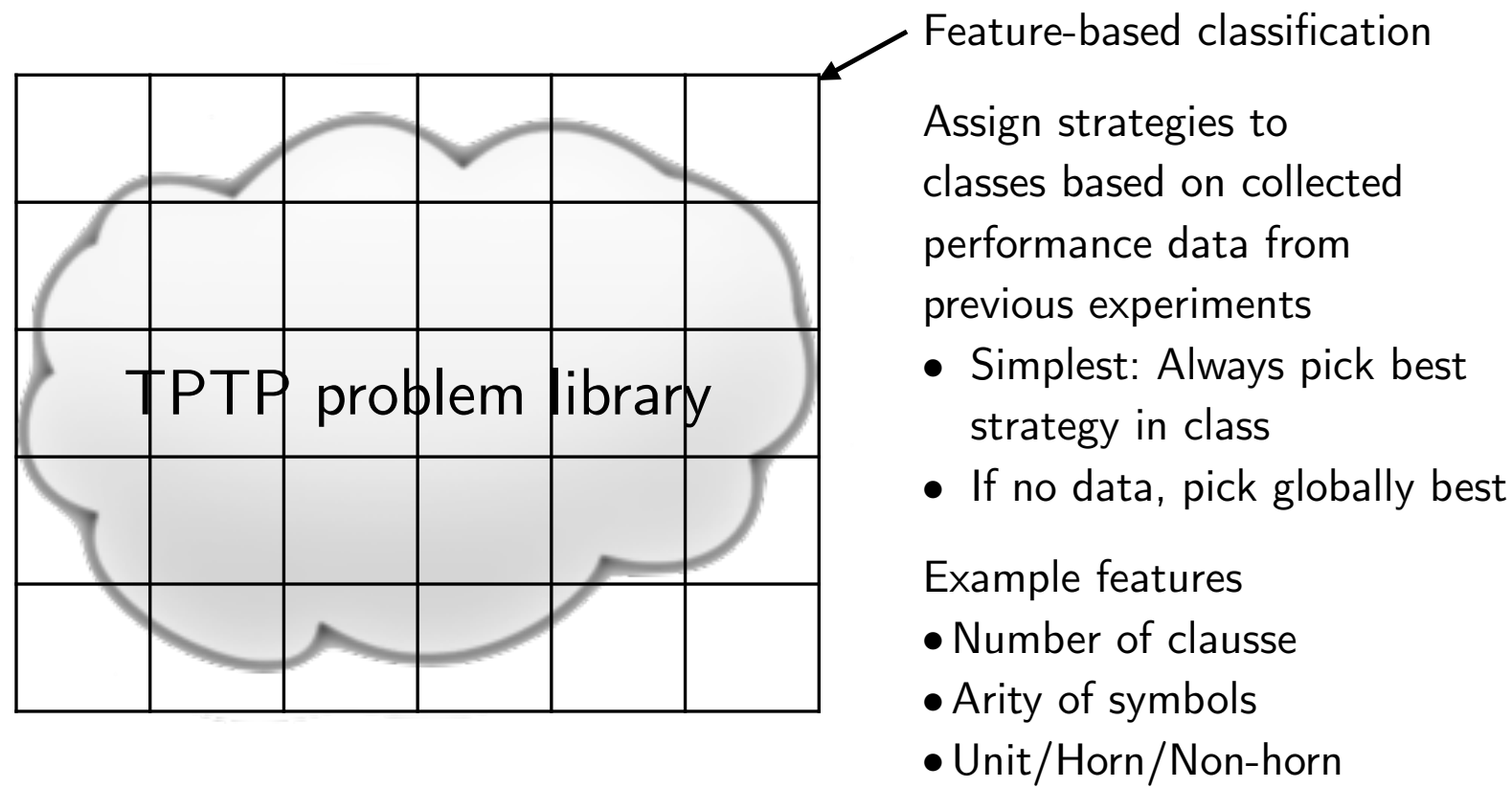
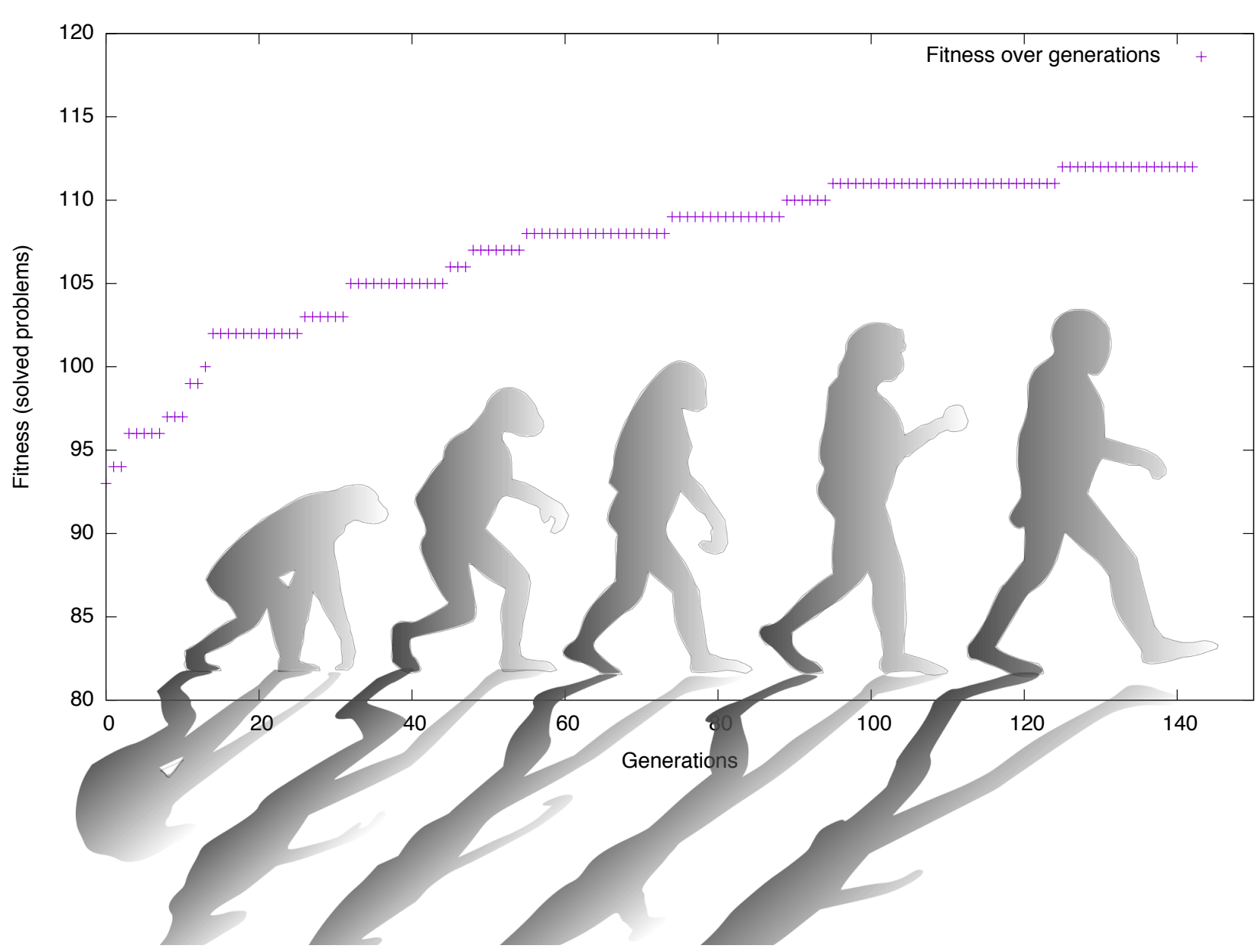
Beschreibung

Automatische Theorembeweiser arbeiten auf einer symbolischen Repräsentation eines Systems - z.B. eines Hardware-Designs, eines Code-Segments, oder einer mathematischen Theorie. Sie führen formale Beweise über Eigenschaften solcher Systeme - z.B. die Korrektheit in Bezug auf definierte Anforderungen, oder die Ableitbarkeit von bestimmten Aussage.



Die Beweissuche erfolgt in der Regel in einem unendlichen Raum von möglichen Ableitungen. Dabei wird die Front der Suche durch eine Menge von logischen Formeln beschrieben, aus denen durch ein Inferenzsystem systematisch neue Schlußfolgerungen abgeleitet werden, und so der durchsuchte Raum erweitert wird.

Moderne Kalküle beschränken die Explosion des Suchraums durch verschiedene Einschränkungen. So dürfen die Bedingungen von Regeln nur in einer definierten Reihenfolge abgearbeitet werden und Gleichungen i.a. nur in eine Richtung (als Rewrite-Relation) verwendet werden. Entscheidend für den Erfolg der Beweissuche ist zum einen die Auswahl einer konkreten Menge von solchen Kalküleinschränkungen vor Beginn der Beweissuche, zum anderen die Auswahl der jeweils zu kombinierenden Fakten während dieser Suche.



E basiert auf einer Erweiterung des Superpositions-Kalkül auf Logiken höher Stufe. Die Implementierung ist auf Grund von innovativen Algorithmen und Datenstrukturen sehr performant. Bei der Steuerung kommen verschiedene KI-Techniken zum Einsatz.

- » Suchstrategien werden durch genetische Algorithmen auf einer symbolischen DSL zur Beschreibung von Bewertungsheuristiken gefunden.
- » Die Auswahl von Strategien für ein gegebenes Problem nutzt Techniken des *Case-Based Reasoning*.
- » Einzelne Bewertungsfunktionen können manuell spezifiziert, aber auch mit verschiedenen *Machine-Learning*-Ansätzen aus früheren erfolgreichen Beweisen gelernt werden.

Ergebnisse

E 3.0 zeigt den Ausbruch von automatischen Theorembeweisern aus der klassischen Nische

- » Prädikatenlogik höherer Stufe kann ohne Performance-Einbußen verarbeitet werden
- » Die Integration verschiedener KI-Techniken und die Synergie zwischen symbolischen und subsymbolischen Verfahren führt zu einer Steigerung in der Leistungsfähigkeit und der Nutzerfreundlichkeit
- » Messbare Erfolge in der CADE ATP System Competition: 2022 ein erster, drei zweite Plätze, weitere erste Plätze 2020 und 2019.

Ausblick

Automatische Theorembeweiser sind schon heute wichtige Werkzeuge für die Spezifikation und Verifikation von komplexen Konzepten und Systemen. Durch die Integration verschiedener KI-Techniken wird ihre Leistungsfähigkeit auf eine neue Ebene gehoben, die den Einsatz zunehmend einfacher und lohnender macht.

Kooperative Partner



Quellen

- » P. Vukmirovic, J. C. Blanchette, S. Cruanes, and S. Schulz, "Extending a Brainiac Prover to Lambda-free Higher-Order Logic," *International Journal on Software Tools for Technology Transfer*, August 2021.
- » S. Schulz, S. Cruanes, and P. Vukmirovic, "Faster, higher, stronger: E 2.3," in *Proc. of the 27th CADE, Natal, Brasil*, ser. LNAI, P. Fontaine, Ed., no. 11716. Springer, 2019, pp. 495–507.
- » S. Schäfer and S. Schulz, "Breeding theorem proving heuristics with genetic algorithms," in *Proc. of the Global Conference on Artificial Intelligence*, Tbilisi, Georgia, ser. EPiC, G. Gottlob, G. Sutcliffe, and A. Voronkov, Eds., vol. 36. EasyChair, 2015, pp. 263–274.
- » K. Chvalovsky, J. Jakubuv, M. Suda, and J. Urban, "ENIGMA-NG: Efficient Neural and Gradient-Boosted Inference Guidance for E," in *Proc. of the 27th CADE, Natal, Brasil*, ser. LNAI, P. Fontaine, Ed., no. 11716. Springer, 2019, pp. 197–215.
- » K. C. Jan Jakubuv, M. Olsak, B. Piotrowski, M. Suda, and J. Urban, "ENIGMA Anonymous: Symbol-Independent Inference Guiding Machine (System Description)," in *Proc. of the 10th IJCAR, Paris*, ser. LNCS, N. Peltier and V. Sofronie-Stokkermans, Eds., vol. 12167. Springer, 2020, pp. 448–463.
- » S. Schulz, "Fingerprint Indexing for Paramodulation and Rewriting," in *Proc. of the 6th IJCAR, Manchester*, ser. LNAI, B. Gramlich, U. Sattler, and D. Miller, Eds., vol. 7364. Springer, 2012, pp. 477–483.
- » —, "Simple and Efficient Clause Subsumption with Feature Vector Indexing," in *Automated Reasoning and Mathematics: Essays in Memory of William W. McCune*, ser. LNAI, M. P. Bonacina and M. E. Stickel, Eds. Springer, 2013, vol. 7788, pp. 45–67.

Kontakt

Duale Hochschule Baden-Württemberg

Studiengang Informatik
Rotbühlplatz 41, 70178 Stuttgart
stephan.schulz@dhbw-stuttgart.de