



Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej

AUTOREFERAT ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

METODY FORMALIZACJI OPISU I PRZEKŁADU BAZ WIEDZY REGUŁOWEJ

AUTOR:

Krzysztof Kaczor

PROMOTOR:

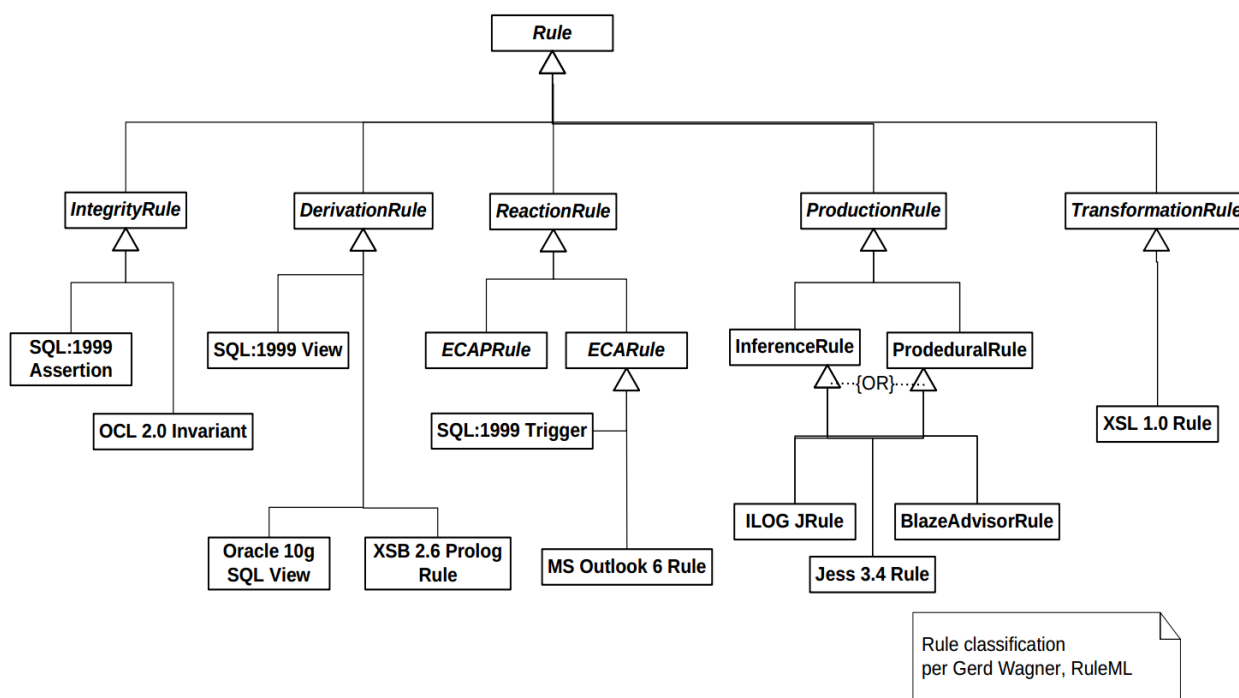
dr hab. inż. Grzegorz J. Nalepa

Kraków 2015

1 Motywacja i obecny stan wiedzy

Reguły jako deklaratywna metoda reprezentacji wiedzy posiadają dużą siłę wyrazu przy jednoczesnym zachowaniu przejrzystości i łatwości interpretacji. Dlatego też znajdują one zastosowanie w wielu nowych obszarach. W ostatnich latach reguły są używane w środowisku biznesowym do definiowania sposobów funkcjonowania przedsiębiorstwa, gdzie są nazywane regułami biznesowymi (*Business Rules*) [1, 8, 16]. Używane są one także jako komplementarna metoda reprezentacji wiedzy w projekcie sieci semantycznej (*Semantic Web*) [2] czy też w procesach biznesowych (*Business Processes*) [5].

Duża różnorodność zastosowań reguł spowodowała powstanie wielu odrębnych reprezentacji mających różną naturę, bazujących na rozbieżnych założeniach i posiadających różnorodną ekspresywność. Pierwsze próby klasyfikacji istniejących reprezentacji regułowych były podjęte w [11]. Aktualnie istnieje wiele różnych klasyfikacji z których największym powodzeniem cieszy się klasyfikacja wprowadzona przez organizację RuleML¹. Została ona przedstawiona na rysunku 1.



Rysunek 1: Klasyfikacja reprezentacji regułowych wprowadzona przez organizację RuleML [14]

Naturalnym problemem, znanym od początków systemów regułowych, wynikającym z mnogości różnych reprezentacji jest kwestia wymiany wiedzy pomiędzy nimi. Podstawowym wymaganiem stawianym metodą wymiany wiedzy regułowej jest konieczność zachowania jej semantyki podczas translacji, tak aby wiedza wymieniana pomiędzy dwoma reprezentacjami miała to samo znaczenie zarówno w jednej jak i w drugiej reprezentacji. Jednak różnice występujące pomiędzy istniejącymi reprezentacjami powodują,

¹Zobacz: www.ruleml.org

że tłumaczenie wiedzy pomiędzy nimi nie jest zadaniem trywialnym, a zastosowanie naiwnych algorytmów translacji (np. działających tylko na poziomie syntaktycznym) najczęściej prowadzi do semantycznego niedopasowania wiedzy przed i po tłumaczeniu. Problem ten został rozpoznany już w czasach klasycznych systemów ekspertowych i jest nazywany problemem wymiany wiedzy regułowej (*Rule Interoperability*).

Aktualnie istnieje wiele podejść i metod do rozwiązania problemu wymiany wiedzy takich jak KIF (*Knowledge Interchange Format*) [7], RIF (*Rule Interchange Format*) [17, 9], RuleML (*Rule Markup Language*) [19, 3] czy też R2ML (*REWVERSE II Rule Markup Language*) [18, 20]. Większość z nich definiuje swoją własną reprezentację wiedzy, która posiada dobrze określoną semantykę i która z założenia odgrywa rolę reprezentacji pośredniczącej w takiej wymianie tj. oryginalna baza wiedzy jest tłumaczona najpierw do formatu pośredniego, dostarczanego przez taką metodę, a dopiero później do reprezentacji docelowej. Zaletą takiego podejścia jest duża skalowalność metody, gdyż w celu zdefiniowania tłumaczenia pomiędzy nową reprezentacją i już istniejącymi wystarczy zdefiniować translację z i do formatu pośredniego. Niemniej jednak istniejące metody i podejścia do wymiany wiedzy rozwiązują problem tylko częściowo. Związane jest to z kilkoma problemami, które jak dotąd nie zostały efektywnie rozwiązane.

Pierwszym zasadniczym problemem jest to, że wyżej wspomniane metody są bardzo ogólne i, przynajmniej teoretycznie, pozwalają na wymianę pomiędzy wieloma różnymi reprezentacjami. Niemniej jednak, zbyt duża ekspresywność powoduje, że model formalny dostarczanej reprezentacji wiedzy jest bardzo skomplikowany i poprzez to bardzo trudno jest go użyć w praktycznych zastosowaniach. Z tego samego powodu metody te nie posiadają lub posiadają bardzo słabe wsparcie narzędziowe.

Drugą istotną kwestią wpływającą na małą efektywność istniejących metod jest to, że wiele z istniejących reprezentacji dostarcza jedynie rozwiązań deweloperskich w postaci języka programowania umożliwiającego definiowanie modeli systemów decyzyjnych opartych na regułach. Faktem jest, że języki te posiadają dobrze określoną składnię, jednak semantyka zakodowanej wiedzy rzadko kiedy posiada interpretację logiczną przez co jej interpretacja nie jest jednoznaczna (nieformalna) i tym samym uniemożliwia zastosowania metod formalnych. Wśród najważniejszych rozwiązań i narzędzi tego typu należy wymienić takie narzędzia jak CLIPS [15], Jess [6] czy też Drools [4].

Ostatnią bardzo istotną kwestią jest to, że semantyka tych metod nie pozwala na wyrażenie wszystkich elementów danej reprezentacji, które są kluczowe z punktu widzenia efektywnej wymiany wiedzy. Przykładem takiego problemu może być to, iż używając powyższych metod nie da się odwzorować struktury bazy wiedzy opisanej przy pomocy np. narzędzia Drools. Tymczasem, jak zostało wykazane w pracy, uwzględnienie tłumaczenia struktury bazy wiedzy jest elementem koniecznym jaki musi być wspierany przez metody translacji gdyż wpływa ona na jej semantykę.

Powyższy opis krótko przedstawia aktualny stan badań w obszarze wymiany wiedzy regułowej i tym samym argumentuje celowość podejmowanych w rozprawie badań mających na celu opracowanie efektyw-

nej metody translacji baz wiedzy. Następne części precyzują główne założenia jakie podjęto w pracy jak również zwięźle przedstawiają zaproponowane podejście.

2 Cele pracy

Głównym celem badań przeprowadzonych w ramach rozprawy było opracowanie nowej, efektywnej metody wymiany wiedzy regułowej. W celu zapewnienia jednoznaczności tłumaczenia, metoda ta została sformalizowana aby precyzyjnie opisywać semantykę wiedzy. Założono, że formalizacja metody będzie oparta na logice atrybutowej ALSV(FD) (*Attributive Logic with Set Values over Finite Domain*) [10] dostarczanej przez metodykę SKE (*Semantic Knowledge Engineering*) [12].

W pracy z góry definiuje się ograniczony zakres możliwości aplikacyjnych metody do systemów regułowych bazujących na regułach produkcyjnych, wykorzystujących mechanizm wnioskowania w przód oraz przyjmujących założenia zamkniętego świata. Ograniczenia te są podyktowane faktem, że w tym obszarze można znaleźć narzędzia, które były i są z powodzeniem wykorzystywane w praktyce. Wśród tych narzędzi znajdują się wyżej wymienione CLIPS, Jess czy też Drools. Dodatkowo w pracy uwzględnia się także reprezentację XTT2 (*eXtended Tabular Trees*) [13] jako przykład sformalizowanej metody wizualnego modelowania regułowych bazy wiedzy opartej na logice atrybutowej ALSV(FD).

Zaproponowana w ramach pracy metoda ma umożliwić efektywną wymianę wiedzy regułowej, która będzie działać na poziomie semantycznym. Oznacza to, że podczas tłumaczenia będzie wykonywana translacja nie tylko składni języka regułowego ale brane będą także pod uwagę kwestie związane z semantyką zgromadzonej wiedzy. O ile zadanie tłumaczenia składni jest oczywiste i relatywnie łatwe do wykonania o tyle tłumaczenie semantyki wymaga rozróżnienia i wprowadzenia dwóch jej poziomów. Pierwszy poziom jest związany z interpretacją reguł i stanowi semantykę statyczną bazy wiedzy. Natomiast drugi poziom jest związany z interpretacją struktury bazy wiedzy i określa on semantykę operacyjną (dynamiczną) [21]. Uwzględnienie wszystkich tych trzech aspektów (składni, semantyki statycznej i semantyki operacyjnej) bazy wiedzy pozwala na efektywne tłumaczenie wiedzy przez które, w pracy, rozumie się takie tłumaczenie w którym zarówno oryginalna jak i przetłumaczona baza wiedzy pozwalają na generowanie analogicznych wniosków dla analogicznych stanów początkowych.

3 Opis proponowanego podejścia

Wstępne badania potwierdzają słuszność poczynionych założeń. Wstępne próby wymiany wiedzy były przeprowadzone przy użyciu istniejących narzędzi wspierających metodykę SKE oraz narzędzia Drools. Poczyniono próby użycia reguł zamodelowanych przy pomocy metodyki SKE w narzędziu Drools. Dokonano pomyślnego tłumaczenia w jedną stronę z zachowaniem semantyki wiedzy. Translacja w drugą stronę

była niemożliwa z racji zbyt dużych ograniczeń języka regułowego SKE.

Do realizacji postawionego w pracy problemu zaproponowano podejście, które może zostać podzielone na następujące etapy:

1. Analiza wybranych języków regułowych – w tym etapie skupiono się na zidentyfikowaniu kluczowych elementów i możliwych konstrukcji w językach regułowych w celu określenia siły ekspresji modelu reprezentacji baz wiedzy.
2. Opracowanie ujednocionej i sformalizowanej reprezentacji wiedzy regułowej – w pracy założono, że nowy formalizm będzie bazował na logice atrybutowej ALSV(FD). Przy jego pomocy w sposób jednoznaczny opisana została semantyka zidentyfikowanych elementów języków regułowych. Dzięki temu opisowi rozpoznano różnice w semantyce odpowiadających sobie elementów występujących w językach.
3. Zdefiniowanie metody wymiany wiedzy – etap ten stanowił najważniejszy punkt prac badawczych. Jego celem było opracowanie metody wymiany wiedzy regułowej pomiędzy rozważanymi językami regułowymi. Dzięki formalizacji metoda pozwala na wymianę wiedzy pomiędzy językami regułowymi bez utraty jej semantyki.
4. Ewaluacja otrzymanych rezultatów – otrzymana metoda wymiany wiedzy została przetestowana przy pomocy nietrywialnych przykładów z czego jeden został dokładnie opisany w pracy. Przykłady zostały wyrażone przy pomocy modelu formalnego a następnie wykonane zostały translacje do wszystkich rozważanych języków regułowych. Dla otrzymanych w ten sposób baz wiedzy uruchomione zostało wnioskowanie w celu przeprowadzenia praktycznej ewaluacji proponowanego podejścia.

Rezultaty otrzymane w wyniku zastosowania zaproponowanego podejścia potwierdzają jego słuszność. Zostały one krótko opisane w następnej sekcji.

4 Rezultaty

Rezultatem pracy jest sformalizowana metoda pozwalająca na semantycznie spójną wymianę wiedzy regułowej pomiędzy rozważanymi reprezentacjami. W celu wykazania słuszności proponowanego podejścia, w ostatniej części pracy przeprowadzona została teoretyczna i praktyczna ewaluacja zdefiniowanej metody.

Ewaluacja teoretyczna polegała na porównaniu semantyki operacyjnej reguł znajdujących się w bazach wiedzy otrzymanych na drodze translacji przeprowadzonej z wykorzystaniem opracowanej metody. Analiza ta miała na celu wykazanie, że zaproponowana w pracy translacja struktury bazy wiedzy prowadzi do tego samego stanu końcowego systemu co struktura w bazie oryginalnej. W celu przeprowadzenia tej

analizy wprowadzono odpowiednią notację przy pomocy której opisano operacyjną semantykę wszystkich zidentyfikowanych elementów determinujących strukturę bazy wiedzy. Przeprowadzone na jej podstawie rozważania pokazują, że stan końcowy osiągany przed i po translacji jest taki sam.

Druga część ewaluacji miała wymiar praktyczny. W ramach tej ewaluacji wykonano tłumaczenie bazy wiedzy przykładowego systemu regułowego, wyrażonego za pomocą sformalizowanego modelu, do wybranych języków i porównano rezultaty otrzymane po ich uruchomieniu. W tym celu posłużono się przykładem PLI którego model wymaga zdefiniowania nietrywialnej struktury bazy wiedzy. Przykład ten opisuje sposób obliczania wartości ubezpieczenia samochodowego OC w zależności od takich czynników jak: okres bezwypadkowej jazdy, kategoria kierowcy, pojemność samochodu, liczba poduszek powietrznych, itp². Poniżej przedstawiono rezultaty po uruchomieniu wnioskowania w bazach wiedzy przetłumaczonych zgodnie z zaproponowaną metodą. W poniższych przykładach warto zwrócić uwagę na końcową wartość ubezpieczenia a także na reguły, które zostały uruchomione.

- **Rezultat uruchomienia wnioskowania w bazie wiedzy zamodelowanej języku CLIPS:**

```
-----
SUBITO: Execution of ploc-clips.clp using CLIPS...
-----
1 The base charge is set to 753
2 Driver class has been increased from 1 to 2
3 90% of base charge because of the driver class (2)
4 +30% because of the small driver experience (2) that is less than 3 years
5 -10% because of the single payment
6 -10% because driver continues the previous agreement
7 +15% because of the car age (12) that is older than 10 years
8 Modifying insurance value 753 by 15% of basecharge 753
9 Modifying insurance value 865.95 by -10% of basecharge 753
10 Modifying insurance value 790.65 by 30% of basecharge 753
11 Modifying insurance value 1016.55 by -10% of basecharge 753
12 Modifying insurance value 941.25 by -10% of basecharge 753
13 The final amount to pay is equal to 865.95

real 0m0.026s
user 0m0.024s
sys 0m0.000s
-----
SUBITO: Execution of ploc-clips.clp using CLIPS...done
-----
```

- **Rezultat uruchomienia wnioskowania w bazie wiedzy zamodelowanej języku Jess:**

```
-----
SUBITO: Execution of ploc-jess.clp using Jess...
-----
1 The base charge is set to 753
2 Driver class has been increased from 1 to 2
3 +30% because of the small driver experience (2) that is less than 3 years
4 90% of base charge because of the driver class (2)
5 -10% because of the single payment
6 -10% because driver continues the previous agreement
7 +15% because of the car age (12) that is older than 10 years
```

²Dokładny opis przykładu można znaleźć na stronie http://ai.ia.agh.edu.pl/wiki/student:msc2008_bizrules_cases:hekate_case_ploc

```
8 Modifying insurance value 753 by 15% of basecharge 753
9 Modifying insurance value 865.95 by -10% of basecharge 753
10 Modifying insurance value 790.6500000000001 by -10% of basecharge 753
11 Modifying insurance value 715.3500000000001 by -10% of basecharge 753
12 Modifying insurance value 640.0500000000002 by 30% of basecharge 753
13 The final amount to pay is equal to 865.9500000000002
```

```
real 0m0.415s
user 0m0.608s
sys 0m0.040s
```

```
-----
SUBITO: Execution of ploc-jess.clp using Jess...done
-----
```

- **Rezultat uruchomienia wnioskovania w bazie wiedzy zmodelowanej języku Drools:**

```
-----
SUBITO: Execution of ploc-drools.drl using Drools...
-----
```

```
1 Driver class has been increased from 1 to 2
2 The base charge is set to 753
3 -10% because of the single payment
4 -10% because driver continues the previous agreement
5 +15% because of the car age (12) that is older than 10 years
6 +30% because of the small driver experience (2) that is less than 3 years
7 90% of base charge because of the driver class (2)
8 Modifying insurance value 753.0 by -10.0% of basecharge 753.0
9 Modifying insurance value 677.7 by 30.0% of basecharge 753.0
10 Modifying insurance value 903.6 by 15.0% of basecharge 753.0
11 Modifying insurance value 1016.5500000000001 by -10.0% of basecharge 753.0
12 Modifying insurance value 941.2500000000001 by -10.0% of basecharge 753.0
13 The final amount to pay is equal to 865.9500000000002
```

```
real 0m2.792s
user 0m4.596s
sys 0m0.160s
```

```
-----
SUBITO: Execution of ploc-drools.drl using Drools...done
-----
```

W przypadku tego modelu różnicą, która od razu jest widoczna w porównaniu do poprzednich, jest inna sekwencja uruchomionych reguł w liniach 3 - 7. Jest ona spowodowana tym, że silnik wnioskujący zastosował inną kolejność dopasowywania faktów do reguł i tworzenia ich aktywacji (instancji). Niemniej jednak w tym przypadku zmieniona kolejność jest dozwolona i nie wpływa ona na finalną wartość ceny ubezpieczenia.

- **Poniżej rezultat uruchomienia wnioskovania w bazie wiedzy zmodelowanej przy pomocy reprezentacji XTT2. W tym przypadku wartość finalna ubezpieczenia jest zapisana w atrybucie o nazwie `resultValue`:**

```
-----
SUBITO: Execution of ploc-xtt.pl using HearT...
-----
```

```
1 HEART: Executing decisinos of rule bonusMalus/1 (ID: null)
2 HEART: Executing decisions driverClass set (driverClass + 1.0)
3 HEART: Executing actions of rule bonusMalus/1 (ID: null)
4 HEART: Executing decisinos of rule bonusMalus/15 (ID: null)
5 HEART: Executing decisions driverClass set driverClass
6 HEART: Executing actions of rule bonusMalus/15 (ID: null)
7 HEART: Executing decisinos of rule baseCharge/2 (ID: null)
8 HEART: Executing decisions baseValue set 753.0
9 HEART: Executing decisions resultValue set 753.0
```

```
10 HEART: Executing actions of rule baseCharge/2 (ID: null)
11 HEART: Executing decisions of rule baseCharge/6 (ID: null)
12 HEART: Executing decisions baseValue set baseValue
13 HEART: Executing decisions resultValue set resultValue
14 HEART: Executing actions of rule baseCharge/6 (ID: null)
15 HEART: Executing decisions of rule baseChargeModifiers/4 (ID: null)
16 HEART: Executing decisions baseModifierValue set -10.0
17 HEART: Executing actions of rule baseChargeModifiers/4 (ID: null)
18 HEART: Executing decisions of rule baseChargeModifiers/14 (ID: null)
19 HEART: Executing decisions baseModifierValue set (baseModifierValue - 10.0)
20 HEART: Executing actions of rule baseChargeModifiers/14 (ID: null)
21 HEART: Executing decisions of rule baseChargeModifiers/15 (ID: null)
22 HEART: Executing decisions baseModifierValue set (baseModifierValue - 10.0)
23 HEART: Executing actions of rule baseChargeModifiers/15 (ID: null)
24 HEART: Executing decisions of rule baseChargeModifiers/20 (ID: null)
25 HEART: Executing decisions baseModifierValue set (baseModifierValue + 30.0)
26 HEART: Executing actions of rule baseChargeModifiers/20 (ID: null)
27 HEART: Executing decisions of rule baseChargeModifiers/21 (ID: null)
28 HEART: Executing decisions baseModifierValue set (baseModifierValue + 15.0)
29 HEART: Executing actions of rule baseChargeModifiers/21 (ID: null)
30 HEART: Executing decisions of rule baseChargeModifiers/26 (ID: null)
31 HEART: Executing decisions baseModifierValue set baseModifierValue
32 HEART: Executing actions of rule baseChargeModifiers/26 (ID: null)
33 HEART: Executing decisions of rule main/1 (ID: null)
34 HEART: Executing decisions resultValue set (baseValue +
    (baseValue * (baseModifierValue / 100.0)))
35 HEART: Executing actions of rule main/1 (ID: null)
36 HEART: Rule main/1 (ID: null) fired.
37 Printing current state (after inference)
38 Attribute baseValue = 753.0
39 Attribute driverLicage = 2.0
40 Attribute carSeats = 5.0
41 Attribute insuranceCars = 1.0
42 Attribute carHistoric = 0.0
43 Attribute insuranceOtherins = 0.0
44 Attribute insurancePayment = single
45 Attribute driverDiscount = null
46 Attribute driverClass = 2.0
47 Attribute insuranceCertificate = 1.0
48 Attribute carCapacity = 997.0
49 Attribute carTechnical = 1.0
50 Attribute insuranceContinue = 1.0
51 Attribute baseModifierValue = 15.0
52 Attribute resultValue = 865.95
53 Attribute carDiscount = null
54 Attribute carAccidents = 0.0
55 Attribute carAge = 12.0
56 Attribute driverAge = 29.0

real 0m0.546s
user 0m0.892s
sys 0m0.064s
```

```
-----
SUBITO: Execution of ploc-xtt.pl using HearT...done
-----
```

Dodatkowo w ramach praktycznej ewaluacji, przeprowadzono także translację oryginalnej bazy wiedzy bez uwzględniania jej struktury, czyli w taki sposób jak mogłaby zostać dokonana przez aktualnie istniejące metody. Wnioskowanie uruchomione w otrzymanej w ten sposób bazie produkuje konkluzje niezgodne z konkluzjami otrzymanymi w oryginalnej bazie wiedzy co świadczy o tym, że struktura nie może być pomijana w trakcie translacji i wskazuje na słuszność założeń przyjętych w pracy. W poniższym przykładnie łatwo zauważyć, że atrybut `class` jest wielokrotnie zwiększany i finalnie otrzymuje wartość 9 (zamiast

prawidłowej 2). Niepoprawna wartość tego atrybutu propaguje się do końca wnioskowania co sprawia, że wyliczona wartość ubezpieczenia jest również niepoprawna (489.45).

```
1 Driver class has been increased from 1 to 2
2 Driver class has been increased from 2 to 3
3 Driver class has been increased from 3 to 4
4 Driver class has been increased from 4 to 5
5 Driver class has been increased from 5 to 6
6 Driver class has been increased from 6 to 7
7 Driver class has been increased from 7 to 8
8 Driver class has been increased from 8 to 9
9 The base charge is set to 753
10 -10% because of the single payment
11 -10% because driver continues the previous agreement
12 +15% because of the car age (12) that is older than 10 years
13 +30% because of the small driver experience (2) that is less than 3 years
14 40% of base charge because of the driver class (9)
15 Modifying insurance value 753.0 by -60.0% of basecharge 753.0
16 Modifying insurance value 301.2 by 30.0% of basecharge 753.0
17 Modifying insurance value 527.1 by 15.0% of basecharge 753.0
18 Modifying insurance value 640.0500000000001 by -10.0% of basecharge 753.0
19 Modifying insurance value 564.7500000000001 by -10.0% of basecharge 753.0
20 The final amount to pay is equal to 489.4500000000001
```

Ewaluacja praktyczna została przeprowadzona przy pomocy narzędzia SUBITO (*Samurai Batch Integration Tool*), które powstało w celu praktycznego wsparcia zaproponowanej metody. Głównym zadaniem tego narzędzia jest wykonanie translacji bazy wiedzy wyrażonej przy pomocy modelu formalnego do rozważanych języków regułowych a następnie ich uruchomienie. Ten etap ewaluacji został wykonany przy pomocy następujących narzędzi:

- Eclipse – wersja 3.8.0.
- CLIPS – wersja 6.24-3 dla architektury amd64 zainstalowana z repozytorium Debian 7.
- Jess – jako wtyczka do środowiska Eclipse w wersji 7.1.
- Drools – jako wtyczka do środowiska Eclipse w wersji 5.5.0 Final.
- HQEd – wersja M6_10_1.
- HeaRT – wersja 1.23.2.2.

Praca jest zakończona opisem ograniczeń opracowanej metody oraz określeniem potencjalnych przyszłych prac i kierunków rozwoju metody i dalszych badań.

5 Najważniejsze projekty

Praca wykonana w ramach rozprawy była realizowana w ramach projektu SAMURAI sfinansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie decyzji numer DEC-2011/03/N/ST6/00886. Oprócz tego autor brał także udział w innych projektach, które miały znaczący wpływ na przeprowadzone badania i otrzymane rezultaty:

- 2008-2009 – HEKATE (MNiSW N516 024 32/2878): *Hybrid Knowledge Engineering*³.
- 2009-2011 – REBIT (POIG 1.3.1): *Business and Technological Rules Management*⁴.
- 2009-2015 – INDECT (FP7-218086, FP7: Collaboration/Security): *Intelligent Information System Supporting Observation, Searching, and Detection for Security of Citizens in Urban Environment*⁵.
- 2010-2012 – BIMLOQ (MNiSW N516 422338): *Business Models Optimization for Quality*⁶.
- 2011-2012 – PARNAS (NCN N516 481240): *Tools for Inference Control and System Quality Analysis for Modularized Rule-Based Systems*⁷.

Literatura

- [1] S. W. Ambler. Business Rules. <http://www.agilemodeling.com/artifacts/businessRule.htm>, 2003.
- [2] Grigoris Antoniou and Frank van Harmelen. *A Semantic Web Primer*. The MIT Press, 2008.
- [3] Harold Boley, Said Tabet, and Gerd Wagner. Design rationale for ruleml: A markup language for semantic web rules. In Isabel F. Cruz, Stefan Decker, Jérôme Euzenat, and Deborah L. McGuinness, editors, *SWWS*, pages 381–401, 2001.
- [4] Paul Browne. *JBoss Drools Business Rules*. Packt Publishing, 2009.
- [5] Marlon Dumas, Marcello La Rosa, Jan Mendling, and Hajo A. Reijers. *Fundamentals of Business Process Management*. Springer Berlin Heidelberg, 2013.
- [6] E. Friedman-Hill. *Jess in Action, Rule Based Systems in Java*. Manning, 2003.

³Zobacz: <http://hekate.ia.agh.edu.pl>

⁴Zobacz: <http://www.rebit.zarz.agh.edu.pl>

⁵Zobacz: <http://indect-project.eu>

⁶Zobacz: <http://bimloq.ia.agh.edu.pl>

⁷Zobacz: <http://parnas.ia.agh.edu.pl>

-
- [7] Michael R. Genesereth and Richard E. Fikes. *Knowledge Interchange Format Version 3.0 Reference Manual*, January 1992.
- [8] Business Rules Group. The business rules manifesto. <http://www.businessrulesgroup.org/brmanifesto.htm>, 2002.
- [9] Michael Kifer and Harold Boley. RIF overview. W3C working draft, W3C, October 2009. <http://www.w3.org/TR/rif-overview>.
- [10] A. Ligeza. *Logical Foundations for Rule-Based Systems*, volume 11 of *Studies in Computational Intelligence*. Springer, 2006.
- [11] Antoni Ligęza. Expert systems approach to decision support. *European Journal of Operational Research*, 37(1):100–110, 1988.
- [12] Grzegorz J. Nalepa. *Semantic Knowledge Engineering. A Rule-Based Approach*. Wydawnictwa AGH, Kraków, 2011.
- [13] Grzegorz J. Nalepa, Antoni Ligęza, and Krzysztof Kaczor. Formalization and modeling of rules using the XTT2 method. *International Journal on Artificial Intelligence Tools*, 20(6):1107–1125, 2011.
- [14] OMG. Production Rule Representation (OMG PRR) version 1.0 specification. Technical Report formal/2009-12-01, Object Management Group, December 2009. <http://www.omg.org/spec/PRR/1.0>.
- [15] Gary Riley. CLIPS - A Tool for Building Expert Systems. <http://clipsrules.sourceforge.net>, January 2008.
- [16] Barbara von Halle. *Business Rules Applied: Building Better Systems Using the Business Rules Approach*. Wiley, 2001.
- [17] W3C Working Group. RIF Primer. <http://www.w3.org/2005/rules/wiki/Primer>, December 2012.
- [18] G. Wagner, A. Giurca, and S. Lukichev. R2ml: A general approach for marking up rules. In F. Bry, F. Fages, M. Marchiori, and H. Ohlbach, editors, *Principles and Practices of Semantic Web Reasoning, Dagstuhl Seminar Proceedings 05371*, 2005.
- [19] Gerd Wagner. How to design a general rule markup language. In *XML Technology for the Semantic Web (XSW 2002), Lecture Notes in Informatics*, pages 19–37, HU Berlin, 2002.
-

- [20] Gerd Wagner, Adrian Giurca, and Sergey Lukichev. R2ML – The REVERSE II Rule Markup Language.
- [21] Glynn Winskel. *The Formal Semantics of Programming Languages: An Introduction*. MIT Press, Cambridge, MA, USA, 1993.
-