ISSN 1507-3858
e-ISSN 2450-0003

Maria Mach-Król
Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach
e-mail: maria.mach-krol@ue.katowice.pl

WIEDZA I ONTOLOGIE W TEMPORALNYCH SYSTEMACH INTELIGENTNYCH

KNOWLEDGE AND ONTOLOGIES IN TEMPORAL INTELLIGENT SYSTEMS

DOI: 10.15611/ie.2015.1.03

Streszczenie: W artykule przedstawiono kwestie temporalnego ujęcia wiedzy o dziedzinie ekonomicznej. Omówiono problematykę wiedzy temporalnej i inteligentnych systemów temporalnych, reprezentacji ontologii temporalnej oraz przedstawiono system PROTON − system wnioskujący dla temporalnych ontologii i baz wiedzy.

Słowa kluczowe: wnioskowanie temporalne, czas, temporalne systemy inteligentne, ontologia, wiedza ekonomiczna, otoczenie ekonomiczne.

Summary: The article presents a temporal point of view of knowledge on economics. It discusses temporal knowledge and temporal intelligent systems as well as temporal ontology representation. It also presents PROTON system – an inference system for temporal ontologies and knowledge bases.

Keywords: temporal inference, time, temporal intelligent systems, ontology, economic knowledge, economic environment.

1. Wstęp

Współczesną dziedzinę ekonomiczną można nazwać – za Ansoffem – turbulentną. Zmiany następują bardzo szybko i trudno je uchwycić. Jednocześnie, jeśli decyzje menedżerskie mają być prawidłowe, jest absolutnie niezbędne, aby wykorzystywać wiedzę o tych zmianach. To z kolei budzi potrzebę uwzględnienia temporalnych aspektów otoczenia ekonomicznego, ponieważ zmiany zachodzą w czasie. Wiedza ekonomiczna ma charakter temporalny, zatem wnioskowanie na jej temat jest również temporalne. Czas staje więc się w analizach ekonomicznych wymiarem podstawowym.

Decyzje ekonomiczne są aktualnie tak złożone, że muszą być wspierane przez narzędzia inteligentne. Celem artykułu jest przedstawienie i krytyczna analiza na przykładzie systemu PROTON takich zagadnień związanych z analizą dziedziny ekonomicznej, jak wiedza temporalna (wiedza zmieniająca się w czasie o zjawiskach zmiennych w czasie) i systemy ją wykorzystujące, możliwość ujęcia czasu w RDF i OWL oraz systemy wnioskujące dla temporalnych ontologii i wiedzy.

W punkcie 2 artykułu przedstawiono problematykę systemów temporalnych i zawartej w nich temporalnej wiedzy. Punkt 3 poświęcono reprezentacji ontologii w RDF i OWL. W punkcie 4 przedstawiono systemy temporalne dla ontologii i baz wiedzy. Ostatni zaś punkt zawiera wnioski końcowe.

2. Systemy temporalne i wiedza temporalna

Przez temporalny system inteligentny rozumiemy system sztucznej inteligencji, który jawnie i bezpośrednio przeprowadza wnioskowanie temporalne. Aby system inteligentny został uznany za temporalny, jawne odniesienia czasowe muszą znajdować się przynajmniej w warstwach reprezentacji i wnioskowania. Przy tym wnioskowanie temporalne to wnioskowanie, w którym czas jest wymiarem podstawowym.

Temporalny system inteligentny można uważać za system wspomagania decyzji w tym sensie, że jego celem jest wspomaganie decyzji wymagających np. zaawansowanej analizy temporalnej otoczenia ekonomicznego, a zatem analizy, w której głównym wymiarem jest czas, ponieważ dotyczy ona zjawisk zmiennych w czasie. Biorąc pod uwagę wspomnianą złożoność tego otoczenia, zadania systemu możemy postrzegać z dwóch różnych perspektyw.

W perspektywie ekonomiczno-menedżerskiej inteligentna analiza zmian obejmuje:

1. Właściwą reprezentację zjawisk w otoczeniu ekonomicznym oraz ich zmiany w czasie.
2. Reprezentację zjawisk zarówno ilościowych, jak i jakościowych.
3. Analizę stanu bieżącego otoczenia ekonomicznego.
4. Analizę historyczną zjawisk w otoczeniu (śledzenie ewolucji zmian).
5. Wyrażanie relacji przyczynowych.
6. Analizę przyszłych zmian otoczenia.

Narzędzie wykonujące wymienione zadania powinno (perspektywa narzędziowa):

1. Reprezentować czas – dyskretny i/lub gęsty – zależnie od potrzeb i od natury analizowanych zjawisk.
2. Reprezentować relacje przyczynowe między akcjami i/lub zjawiskami w otoczeniu, reprezentować warunki wykonania akcji.
3. Reprezentować procesy, w tym warunkowe i współbieżne.
4. Analizować zmiany przyszłe.

Aby zrealizować przedstawione zadania, system inteligentny musi wykorzystywać formalizmy temporalne. Mają one liczne zalety, między innymi:
– pozwalają reprezentować zmianę oraz wnioskować na temat przyczyn, skutków i kierunków zmiany,
– wraz z relacjami przyczynowymi formalizmy temporalne mogą być użyte do analizy „co-jeśli”,
– udostępniają reprezentację jakościowej i ilościowej informacji temporalnej, jak również relacji temporalnych,
– jest możliwe przeprowadzanie wnioskowania jakościowego oraz symulowanie ludzkiego wnioskowania zdroworozsądkowego,
– dzięki formalizmom temporalnym można różnicować granulacje temporalne oraz modelować procesy w sposób jawny.

Wiedza temporalna to specyficzny rodzaj wiedzy. Określają ją następujące własności:
– jest czasowo zależna,
– jest zmienna,
– uwzględnia zmiany i akcje,
– uwzględnia powiązania przyczynowo-skutkowe.

Wiedzę temporalną można wykorzystać w temporalnym systemie inteligentnym. Dysponując taką wiedzą, system może uzyskiwać nową wiedzę, dostarczać wiedzy aktualnej, radzić sobie z nową informacją. W efekcie można w nim reprezentować zmieniające się dziedziny, dopasowywać się do zmian w otoczeniu oraz wnioskować na temat dziedzin zmieniających się w czasie.

3. Reprezentacja ontologii w RDF i OWL

Wiedza dziedzinowa – w tym przypadku ekonomiczna – może być reprezentowana w różny sposób. Sowa [Sowa 2000] za reprezentację wiedzy uważa trójkę logika, ontologia, modele obliczeniowe (czyli wnioskowanie). W tym miejscu zajmiemy się ontologią.

Chyba najpopularniejszymi narzędziami opisu ontologii są RDF i OWL. RDF to skrót od *Resource Description Framework*. Jego definicję i standard można znaleźć np. na http://www.w3.org/RDF/i http://www.w3.org/TR/rdf-primer/. Główne założenie RDF opiera się na stwierdzeniu, że wszystko jest zasobem. Z kolei zasób to wszystko to, co może zostać zidentyfikowane za pomocą URI – *Uniform Resource Identifier*. Wyrażenia dotyczące zasobów są w postaci tzw. trójek RDF, złożonych z podmiotu, orzeczenia i dopełnienia. Innymi postaciami trójek RDF są: podmiot, predykat, obiekt oraz obiekt, własność, wartość. Zbiór trójek razem tworzy model RDF. Z tego względu dokument RDF to opis zasobów i relacji między nimi. Schemat RDF definiuje klasy zasobów, typy relacji i ograniczeń, umożliwiając tym samym proces wnioskowania.

Język RDF ma wiele zastosowań, między innymi [Bąk, Jędrzejek 2009]:
– wyszukiwarki semantyczne,
– semantyczne wiki,
– gromadzenie danych i wiedzy z heterogenicznych źródeł,
– system opisu ulubionych stron WWW (zakładek) opisanych semantycznie,
– system wsparcia dla autorów blogów, pozwalający na szybkie oznaczenie wpisywanych słów wraz z odnośnikami do stron i zdjęć.

OWL (*Web Ontology Language*) ma o wiele szersze możliwości opisu związków między klasami oraz wnioskowania. Standard można znaleźć na stronie http://www.w3.org/2004/OWL/; jest on rekomendowany przez W3C. OWL został opracowany do opisu i wymiany wiedzy w sieci WWW. Jest oparty na logice opisowej (*Description Logic*) i definiowany przez W3C w postaci trzech różnych podjęzyków:
– OWL Full,
– OWL DL,
– OWL Lite.

Każdy z podjęzyków odpowiada na inną grupę oczekiwań. OWL Full wykorzystuje wszystkie konstrukty składni OWL. Jest w pełni kompatybilny w górę z konstruktami RDF i schematu RDF pod względem zarówno syntaktycznym jak i semantycznym. Można go z tymi konstruktami łączyć. Pewną słabością OWL Full jest brak pełnego wsparcia dla wnioskowania. Następny podjęzyk, OWL DL, jest zgodny z logiką deskrypcyjną. Nie wszystkie konstrukty OWL i RDF mogą być używane z tą wersją. Nie jest ona również w pełni kompatybilna z RDF – nie każdy poprawny dokument RDF jest poprawnym dokumentem OWL DL, ale każdy poprawny dokument OWL DL jest poprawnym dokumentem RDF. OWL DL wspiera także efektywne wnioskowanie. OWL Lite to podzbiór konstruktów OWL DL. Pod względem zrozumiałości i implementacji jest to najprostszy z trzech podjęzyków. Jego wadą jest ograniczona ekspresyjność.

Zarówno RDF, jak i OWL nie nadają się jednak do reprezentowania wiedzy temporalnej. W literaturze pojawiło się zatem kilka prób rozwiązania tego problemu. Na przykład autorzy pracy [Gutierrez, Hurtado, Vaisman 2005] zaproponowali temporalne grafy RDF. W pracy [Perry 2006] zaprezentowano przestrzenno-temporalny model danych, wykorzystujący te grafy. Jeśli chodzi o OWL to autorzy pracy [Milea, Frasincar, Kaymak 2008] przedstawili nowy formalizm temporalny bazujący na OWL (TOWL), zaś autorzy [Salguero, Araque, Delgado 2008] pokazali przestrzenno-temporalny OWL (STOWL).

4. Systemy wnioskujące temporalnie (*temporalreasoners*) dla ontologii/baz wiedzy: PROTON

W punkcie 2 zdefiniowano temporalny system inteligentny. Według wiedzy autorki niniejszego artykułu nie istnieją jeszcze funkcjonujące systemy tego typu (pewne próby ich stworzenia podejmują autorzy prac [Michalik, Mach-Król 2014] i [Mach-

-Król, Michalik 2013]). Są natomiast implementowane systemy do zarządzania informacją temporalną, wykorzystujące pojedyncze formalizmy temporalne bądź semitemporalne. Jednym z nich jest narzędzie o nazwie PROTON − system wnioskujący, działający na ontologiach temporalnych. Jest on ostatnim, związanym z wnioskowaniem ogniwem trójki proponowanej przez Sowę. Na podstawie [Papadakis i in. 2011] system ten zostanie krótko omówiony.

PROTON to akronim od słów *Prolog Reasoner for Temporal Ontologies in OWL*. Jest to system wnioskujący do zarządzania informacją temporalną nad ontologiami OWL. W systemie jest możliwa reprezentacja punktów czasowych lub interwałów, a także zdarzeń zachodzących w tych punktach bądź interwałach.

Za konstrukcją PROTON-u stoją pewne obserwacje i założenia. Pierwsza dotyczy faktu, że takie języki reprezentacji, jak OWL i RDF (por. punkt 3), opierają się na relacjach binarnych. Informacja temporalna, czyli zawierająca jawne aspekty czasowe, może być reprezentowana w ontologiach, natomiast jej zmian nie można reprezentować ani w OWL, ani w RDF. W konsekwencji, prowadząc wnioskowanie nad informacją wyrażoną w OWL bądź RDF, nie można wziąć pod uwagę jej temporalnego aspektu.

PROTON dedykowany jest wnioskowaniu na temat ontologii temporalnych w OWL i potrafi obsługiwać zapytania dotyczące zdarzeń zmieniających się w czasie. System rozpoczyna pracę z temporalną ontologią w OWL, następnie przekształca ją w trójki postaci (podmiot predykat podmiot). Na końcu trójki te przekształcane są w klauzule Prologu. PROTON został zaimplementowany w tzw. temporalnym rachunku sytuacyjnym, dlatego może wykorzystywać mechanizmy Prologu do implementacji komponentu wnioskującego.

Głównymi formalizmami do wnioskowania na temat akcji i zmian są: rachunek sytuacyjny, rachunek fluentów[1], rachunek zdarzeń, języki akcji, rachunek akcji i logika akcji temporalnych (TAL). Rachunek sytuacyjny jest najpopularniejszym z formalizmów, językiem II rzędu przeznaczonym do reprezentacji zmian w świecie. W rachunku tym wszystkie zmiany są wynikiem wykonania pewnych akcji. Świat zaś jest opisywany za pomocą tzw. fluentów (które mogą być predykatami bądź funkcjami). Możliwa ewolucja świata (dziedziny) to sekwencja akcji reprezentowanych za pomocą sytuacji.

Warto skomentować wykorzystanie rachunku sytuacyjnego. Oryginalny SC (*SituationCalculus*) jest typowym językiem akcji, umożliwiającym wyrażanie temporalnych aspektów dziedziny w sposób pośredni [Levesque, Reiter 2013]. Być może ta niejawność skłoniła niektórych autorów do opracowania wersji S.C., bardziej zorientowanej temporalnie, a mianowicie temporalnego rachunku sytuacyjnego. Jednym z tych autorów jest Raymond Reiter [Reiter 2001]. Jednakże, jak można od

[1] Angielskie słowo *fluent* można tłumaczyć jako „działanie", „zmienna" bądź „fakt". Ze względu na niejednoznaczność tych terminów w języku polskim zdecydowano się na pozostawienie terminu angielskiego, podobnie jak w pracy [Mach 2007].

razu zauważyć, „temporalny" SC jest tylko niewielką modyfikacją klasycznego. Jak wskazuje wspomniany autor, modyfikacje obejmują dodanie argumentu temporalnego do wszystkich akcji zachodzących w punktach czasu oraz dodanie jednego nowego aksjomatu. W ten sposób otrzymuje się rodzaj hybrydowego języka reprezentacji, łączącego jawne i niejawne odniesienia do czasu.

Jedynym powodem użycia temporalnego rachunku sytuacyjnego w narzędziu PROTON jest, zdaniem autorki – potrzeba wykorzystania wnioskowania w Prologu, z którym SC jest ściśle powiązany. Jednakże autorzy PROTON-u proponują ich własne rozszerzenie SC, aby jawnie ująć pojęcia związane z czasem. Modyfikacje te są następujące:

- Dla każdego fluentu *f* dodaje się argument *L*, gdzie *L* to lista interwałów czasu [*a; b*]*; a* < *b*.
- Każde [*a; b*] reprezentuje punkty czasowe x: {*x*{*a* < *x* < *b*}}.
- Fluent *f* jest prawdą nad wszystkimi interwałami z listy *L*.
- Zdefiniowano dwie nowe funkcje: *start*(*a*) i *end*(*a*), gdzie *a* to zdarzenie (akcja).
- Zdarzenia są uporządkowane: *a*1 < *a*2 , gdzie *start*(*a*1) < *start*(*a*2).
- Predykat *eventHappen*(*a; t*) oznacza, że akcja *a* jest wykonywana w chwili *t*.
- Tak zwana sytuacja temporalna jest definiowana jako sytuacja z listą interwałów czasu, nad którymi fluenty są prawdą.
- Funkcja *Holding*(*S; t*) zwraca wszystkie fluenty prawdziwe w chwili *t*. Dla fluentu funkcyjnego *Holding*(*S; t*) zwraca wartość funkcji w punkcie czasowym *t*. Sytuacja *S* jest temporalna.
- Przejście z jednej sytuacji do drugiej jest możliwe, gdy *Holding*(*S; t*) zwraca różne zbiory.

Zaprezentowana lista ukazuje bardzo dziwny sposób reprezentowania punktów czasu. Zdaniem autorki punkt czasowy winien być reprezentowany jako interwał {*a*, *b*}, gdzie *a* = *b*. W ten sposób punkty czasu reprezentuje Allen (por. [Allen 1984]). Jest to tym bardziej uzasadnione, że autorzy systemu PROTON w dalszych rozważaniach wykorzystują rachunek interwałów Allena do manipulowania interwałami czasu.

Następnie, w naszej opinii autorzy [Papadakis i in. 2011] niepotrzebnie mnożą byty temporalne, wprowadzając zarówno punkty czasu, jak i momenty. Same punkty w zupełności by wystarczyły. Oczywiście, można założyć, że dla autorów omawianej pracy punkty czasu i momenty oznaczają to samo, jednak w pracy [Papadakis i in. 2011] nie jest to nigdzie powiedziane.

PROTON opera się na idei przekształcania reprezentacji w ontologii temporalnej na zbiór predykatów Prolog-u. Po takim przekształceniu jest możliwe zadawanie zapytań temporalnych do prologowej bazy danych. Dzięki wykorzystaniu temporalnego rozszerzenia rachunku sytuacyjnego PROTON może manipulować relacjami między punktami i/lub interwałami czasu oraz wnioskować temporalnie.

Narzędzie PROTON składa się z kilku modułów: SWI-Prolog, który konwertuje koncepty OWL w klauzule Prologu, modułu obliczania relacji interwałowych, zbioru

funkcji do obliczania wartości własności w czasie, zbioru predykatów pozwalających ustalić, kiedy zachodzi zdarzenie oraz zbioru predykatów wykonujących reguły, które działają, gdy zachodzi zdarzenie lub zmiana wartości cechy.

Koncepty OWL są przekształcane w fakty postaci „predykat (podmiot, obiekt)". Przed przekształceniem ontologia OWL jest konwertowana na trójki (podmiot predykat obiekt) za pomocą SWI-Prolog. Po transformacji wszystkich obiektów OWL w fakty można zastosować wnioskowanie Prologu do implementacji systemu wnioskującego.

Baza wiedzy systemu PROTON składa się z tworzonych automatycznie predykatów dotyczących dziedziny aplikacji. Niektóre z nich są wspólne dla wszystkich ontologii, inne zaś są zależne od dziedziny. Zaimplementowano również temporalne relacje Allena (*before*, *equals*, *meets*, *overlaps*, *during*, *starts*, *finishes*). W bazie wiedzy są też pewne dodatkowe predykaty – dwa obsługujące czas, dwa obliczające wartości cech, dziedzinowo zależne, oraz inne predykaty, w tym odpowiedzialne za rozwiązywanie problemu domykania wiedzy.

Podczas analizy struktury PROTON-a i jego bazy wiedzy pojawiają się pewne pytania. Po pierwsze, dziwi umieszczenie predykatów w bazie wiedzy, podczas gdy te same predykaty „skanują" tę bazę i ustalają pewne wartości. Wydaje się, że są to raczej funkcje, a nie predykaty − stąd pytanie, dlaczego autorzy pracy [Papadakis i in. 2011] nazywają je predykatami?

Po drugie, w opinii autorki niniejszego artykułu nie ma potrzeby wprowadzania jednocześnie punktów czasu i interwałów czasu, skoro relacje w bazie wiedzy są Allenowskie (jak wiadomo, Allen wprowadził jedynie relacje interwałowe i pokazał, jak definiować punkty czasu w kategoriach interwałów). Byłoby zatem wystarczające wprowadzenie do bazy wiedzy PROTON-a tylko interwałów.

Autorzy wspomnianej pracy nie wyjaśniają ponadto, w jaki sposób obsługiwane są zdarzenia przeszłe i jak aktualizowana jest baza wiedzy. Wreszcie piszą oni raz o bazie wiedzy, innym zaś razem o bazie danych. Dlatego czytelnik nie wie, czy PROTON zawiera bazę wiedzy, bazę danych czy obie te bazy.

Podsumowując, można stwierdzić, że PROTON to jedna z pierwszych prób implementacji systemu wnioskującego temporalnie nad ontologiami OWL, nie jest ona jednak wolna od wad.

Innymi interesującymi systemami wnioskującymi temporalnie są np. SOWL [Batsakis, Petrakis 2011], FuzzyTIME [Juarez i in. 2010] i inne.

5. Wnioski końcowe

Wnioskowanie temporalne w problemach ekonomicznych i zarządczych to dziedzina obszerna, dlatego nie jest możliwe omówienie wszystkich kwestii w jednym artykule. Przedstawiono jedynie krótki przegląd problematyki, skupiając się na trójce zaproponowanej przez Sowę: logice, ontologii i modelach obliczeniowych, które razem tworzą reprezentację wiedzy dziedzinowej. Ponieważ dziedzina ekonomiczna

jest dynamiczna i czas jest jej kluczowym aspektem, zaprezentowano kwestie związane z ontologiami temporalnymi i obliczeniami temporalnymi – czyli kwestie wnioskowania temporalnego na potrzeby dynamicznych decyzji menedżerskich.

Temporalna wiedza ekonomiczna jest specyficzna, dlatego potrzebuje specyficznego potraktowania. Rozwiązania zaprezentowane w artykule nie odnoszą się do tzw. wnioskowania zdroworozsądkowego (*commonsensereasoning*), które, zdaniem autorki, może się okazać użyteczne w formalizowaniu decyzji ekonomicznych i/lub ekonomicznego doświadczenia. Dlatego autorka planuje w przyszłości opracować również przegląd rozwiązań odnoszących się do *commonsensereasoning*, które można będzie wykorzystać w rozwiązywaniu problemów ekonomicznych i menedżerskich.

Literatura

Allen J., 1984, *Towards a General Theory of Action and Time*, "Artificial Intelligence", 23(2).

Batsakis S., Petrakis E., 2011, *SOWL: A framework for handling spatio-temporal information in OWL 2.0*, [w:] N. Bassiliades, G. Governatori, A. Paschke (red.), *Rule-Based Reasoning, Programming, and Applications*, Springer, Berlin-Heidelberg, s. 242-249.

Bąk J., Jędrzejek C., 2009, *Semantic Web – technologie, zastosowania, rozwój.* XV Konferencja PLOUG, Kościelisko, s. 236-246.

Gutierrez C., Hurtado C., Vaisman A., 2005, *Temporal RDF,* [w:] A. Gómez-Pérez, J. Euzenat (red.), *The Semantic Web: Research and Applications,* Springer, Berlin Heidelberg, s. 93-107.

Juarez J. i in., 2010, *Applications of temporal reasoning to intensive care units,*"Journal of Healthcare Engineering", 1(4), s. 615-636.

Levesque H., Reiter R., 2013, *Systems,* http://www.cs.toronto.edu/cogrobo/main/systems/index.html (5.04.2014).

Mach-Król M., Michalik K., 2013, *An intelligent system with temporal extension for reasoning about legal knowledge,* [w:] A. Skulimowski (red.), *Looking into the Future of Creativity and Decision Support Systems,* Progress & Business Publishers, Kraków, s. 360-369.

Mach M.A., 2007, *Temporalna analiza otoczenia przedsiębiorstwa. Techniki i narzędzia inteligentne,* Wydawnictwo AE, Wrocław.

Michalik K., Mach-Król M., 2014, *Logika temporalna w koncepcji baz wiedzy systemu Logos do reprezentacji wiedzy w domenie prawniczej,* Roczniki Kolegium Analiz Ekonomicznych SGH (w druku).

Milea V., Frasincar F., Kaymak U., 2008, *Knowledge Engineering in a Temporal Semantic Web Context,* Yorktown Heights, NJ, IEEE, s. 65-74.

Papadakis N. i in., 2011, *PROTON: A Prolog Reasoner for Temporal ONtologies in OWL,* "Expert Systems with Applications", s. 14660-14667.

Perry M., 2006, *Analyzing Theme, Space and Time: An Ontology-based Approach,* ACM, New York, s. 147-154.

Reiter R., 2001, *Knowledge in Action: Logical Foundations for Specifying and Implementing Dynamical Systems,* MIT Press, Cambridge.

Salguero A., Araque F., Delgado C., 2008, *Spatio-temporal ontology based model for Data Warehousing,* WSEAS Press, Istanbul, s. 125-130.

Sowa J., 2000, *Knowledge representation,* Brooks/Cole, Pacific Grove.