

Maria Mach-Król

Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach

ONTOLOGIA CZASU NIELINIOWEGO DLA OPISU RZECZYWISTOŚCI EKONOMICZNEJ

Streszczenie: Artykuł dotyczy ustalenia takiej ontologii czasu, która pozwoli jak najdokładniej odwzorowywać zmiany w nieciągłym, burzliwym otoczeniu ekonomicznym przedsiębiorstw. Jest to konieczne, aby można było zbudować temporalny model analityczny tego otoczenia, zdolny wskazać zmiany istotne, określić ich przyczyny, kierunki i skutki oraz wpływ na działalność przedsiębiorstwa. Należy wziąć pod uwagę cechy analizowanego otoczenia i do nich dopasować ontologię czasu. W artykule zaproponowano ontologię, która dobrze pasuje do opisu i analizy turbulentnego otoczenia przedsiębiorstwa. Celem artykułu jest analiza specyficznych cech rzeczywistości ekonomicznej, warunkujących wybór struktury czasu i przedstawienie propozycji ontologii czasu odpowiadającej wymogom analizy ekonomicznej.

Słowa kluczowe: ontologia, czas, analiza temporalna, analiza strategiczna.

DOI: 10.15611/ie.2014.1.06

1. Wstęp

Otoczenie, w jakim działają współczesne przedsiębiorstwa, przyjęło się określać mianem burzliwego. Słowo to doskonale oddaje cechy otoczenia przedsiębiorstwa: nieciągłość, zmienność, obecność turbulencji, niejednorodność. Powodują one, że zrozumienie zmian zachodzących w otoczeniu, wyłowienie z nich zmian istotnych, określenie ich przyczyn, skutków i kierunków, a przede wszystkim ich wpływu na działalność przedsiębiorstwa staje się zadaniem coraz trudniejszym. Tym trudniejszym, że w coraz większym stopniu dostrzega się znaczący wpływ zmian w otoczeniu na formułowanie np. strategii przedsiębiorstw czy – mówiąc ogólnie – na ich przetrwanie i rozwój.

Analiza zmian nie może być prowadzona w oderwaniu od aspektu temporalności, ponieważ czas jest nierozzerwalnie związany z pojęciem zmiany. Aspekt temporalny jest tym bardziej istotny, że we współczesnych przedsiębiorstwach coraz ważniejszym zasobem staje się wiedza. Znaczna część wiedzy ma charakter temporalny,

zatem pominięcie wymiaru czasowego prowadziłyby do utraty istotnych elementów wiedzy. Tym samym ważną kategorią dla przedsiębiorstwa staje się również czas.

Powyższe stwierdzenia prowadzą do prostego wniosku: pełna reprezentacja wiedzy ekonomicznej musi być reprezentacją temporalną. Jak stwierdza Sowa [2000], reprezentacja wiedzy składa się z trzech elementów: ontologii, logiki i procedur obliczeniowych. Każda logika zakłada pewną ontologię opisywanej dziedziny. Dlatego reprezentacja wiedzy o dynamicznym otoczeniu ekonomicznym powinna składać się z ontologii czasu i dziedziny, logiki temporalnej oraz procedur obliczeniowych (wnioskowania). Z drugiej strony, ontologia czasu odnosi się do podstawowych jednostek temporalnych i do struktury czasu. Jeśli założymy, że struktura czasu ściśle warunkuje wybór odpowiednich jednostek temporalnych, to staje się oczywiste, że kwestia struktury czasu jest fundamentalna.

Artykuł ma następującą strukturę: w punkcie 2. zamieszczono podstawowe informacje na temat ontologii jako pojęcia i wskazano, które elementy definicyjne są najbardziej istotne w kontekście reprezentacji czasu. Punkt 3. omawia model czasu rozgałęzionego w przód, jako najbardziej naszym zdaniem odpowiedniego na potrzeby analizy temporalnej otoczenia przedsiębiorstwa. W kolejnym punkcie przedstawiono ontologię czasu punktowego. Punkt 5. poświęcony jest problemowi łączenia czasu ze zdarzeniami w świecie, tak aby tworzony model analityczny jak najlepiej oddawał zmiany w otoczeniu ekonomicznym. Ostatnia część pracy zawiera wnioski i prezentuje możliwe kierunki dalszych badań.

2. Ontologia

Jak powiedziano we wstępie, jednym z głównych elementów reprezentacji wiedzy jest ontologia, ponieważ każda logika – w tym temporalna – zakłada pewną ontologię opisywanej dziedziny. Ontologia była definiowana przez wielu autorów. Dla potrzeb artykułu przytoczymy kilka definicji.

Eder i Koncilia [2005] definiują ontologię jako „konceptualizację pewnej dziedziny. Opisuje ona pojęcia dziedziny, ich własności i relacje”. Podobnie widzą ontologię Salguero i jego współpracownicy [Salguero i in. 2008, s. 126], którzy ujmują ją jako „specyfikację konceptualizacji dziedziny wiedzy. Kontrolowany słownik, który opisuje obiekty i relacje między nimi w sposób formalny i ma gramatykę pozwalającą używać terminów ze słownika, aby wyrazić pewne znaczenie w określonej dziedzinie zainteresowania”. Grenon [2003] twierdzi, że „ontologia formalna to gałąź filozofii, analizująca i tworząca teorie na najwyższym i najbardziej dziedzinowo niezależnym poziomie ogólności”. Perry i jego współpracownicy [Perry i in. 2006, s. 147] dodają, że ontologia zapewnia kontekst lub semantykę dziedziny.

Wydaje się, że ontologii czasu najbliższe są definicje zaproponowane w pracach [Eder, Koncilia 2005; Salguero i in. 2008]. Ontologia taka musi bowiem ujmować elementy czasu – punkty bądź przedziały, lub jedne i drugie – oraz wza-

jemne ich relacje. Ponadto musi zawierać „sposób” manipulacji nimi tak, aby nabrały znaczenia. Szczegółowy opis przyjmowanej w analizie ekonomicznej ontologii czasu przedstawiono w punkcie 3.

3. Czas rozgałęziony w przód

Dla potrzeb analizy ekonomicznej otoczenia przedsiębiorstwa przyjmujemy model czasu rozgałęzionego w przód – lewostronnie liniowego. Uzasadnienie takiej decyzji jest następujące. Otoczenie przedsiębiorstwa jest niedeterministyczne, przyjęcie czasu liniowego zaś zakłada jego determinizm, natomiast rozgałęzionego w przyszłość – niedeterminizm. Przyjęcie struktury czasu rozgałęziającego się w przyszłość, czyli takiej, w której zakładamy, że obecne działania mogą rozwinąć się w wiele różnych scenariuszy, pozwoli pogłębić analizę otoczenia, pozwalając np. na prowadzenie analiz typu „co... jeśli”.

Nie jest to jedyna możliwa i uzasadniona struktura. Przykładowo, biorąc pod uwagę różnice aspektów temporalnych różnych rynków bądź gałęzi, można by zastanowić się, czy nie byłaby odpowiednia struktura czasu równoległego, umożliwiająca np. prowadzenie analizy na różnych rynkach równocześnie. Również struktura czasu rozgałęziającego się w przeszłość mogłaby być brana pod uwagę – celem prowadzenia analiz, jakie zmiany przeszłe na różnych rynkach bądź w różnych branżach równoległe odpowiadają za obecną sytuację przedsiębiorstwa. Jednak – jak powiedziano wyżej – przyjmujemy w artykule strukturę czasu lewostronnie liniowego.

Formalna definicja jest następująca [Klimek 1999, s. 21 i n.]: strukturę czasową T nazywamy rozgałęzioną w przyszłość, czyli lewostronnie liniową, jeśli

$$\forall t_1, t_2, t_3 \in T (t_2 < t_1 \wedge t_3 < t_1) \Rightarrow (t_2 < t_3) \vee (t_2 = t_3) \vee (t_3 < t_2) \quad (1)$$

Jako podstawową strukturę czasu przyjmujemy czas punktowy. Zasadniczo w ontologii czasu przyjąć można jako jednostki podstawowe albo punkty czasu, albo przedziały (interwały) czasu, albo oba rodzaje jednostek traktowane równorzędnie. W literaturze wiele było sporów na ten temat, różni autorzy skłaniają się do różnych rozwiązań (por. np. [Vila 1994]). W artykule przyjmować będziemy czas składający się z punktów. Powodem tego wyboru jest dziedzina zastosowań, do jakiej odnosić będziemy struktury czasu, a mianowicie dziedzina ekonomiczna. Biorąc pod uwagę wspomniane wcześniej otoczenie przedsiębiorstwa, należy podkreślić, że choć w praktyce wiele jest elementów otoczenia zmieniających się w sposób ciągły i postuluje się nawet proces ciągłego monitorowania otoczenia [Przybyłowski i in. 1998], to równie wiele jego elementów zmienia się w sposób dyskretny. Ponadto założenie czasu ciągłego wymagałoby wprowadzenia aksjomatyki II rzędu [Bennett, Galton 2004, s. 36], natomiast w artykule chcemy ograniczyć się do formalizmów I rzędu.

Formalnie zatem: czas składa się z punktów i relacji poprzedzania $<$, czyli struktura punktowa T , to uporządkowana para $\langle T, < \rangle$, gdzie T – niepusty zbiór punktów, a $<$ – relacja poprzedzania.

Aksjomat dyskretności czasu zapisujemy:

$$\forall x, y (x < y \rightarrow \exists z (x < z \wedge \neg \exists u (x \wedge u < z))) \quad (2)$$

$$\forall x, y (x < y \rightarrow \exists z (z < y \wedge \neg \exists u (z < u \wedge u < y))). \quad (3)$$

Struktura ta ma własności:

a) przechodności $\forall x, y (x < y \wedge y < z \rightarrow x < z)$,

b) antyzwrotności $\forall x \neg (x < x)$,

c) antysymetrii $\forall x, y (x < y \wedge y < x \rightarrow x = y)$.

Ponadto, ponieważ mamy do czynienia z czasem rozgałęzionym w przód (lewostronnie/wstecznie liniowym), dodajemy aksjomat wstecznej liniowości:

d) wstecznej liniowości $\forall x, y (x < z \wedge y < z \rightarrow x < y \vee x = y \vee y < x)$.

4. Ontologia czasu punktowego

Przedstawiona w niniejszym punkcie ontologia czasu punktowego stanowi rozszerzenie i modyfikację (do czasu lewostronnie liniowego) ontologii Hobbsa i Pana [Hobbs, Pan 2004] oraz poszerzenie jej o własności czasu zaczerpnięte z [Hajnicz 1996], ze względu na omówiony już charakter dziedziny ekonomicznej.

Topologiczne relacje temporalne.

Punkty czasu to podklasa jednostek temporalnych:

$$Instant(t) \rightarrow \neg TemporalEntity(t), \quad (4)$$

$$\forall (T) TemporalEntity(T) \rightarrow Instant(T), \quad (5)$$

Preedykaty *begins* i *ends* to relacje między punktami a jednostkami temporalnymi:

$$begins(t, T) \rightarrow Instant(t) \wedge TemporalEntity(T) \quad (6)$$

$$ends(t, T) \rightarrow Instant(t) \wedge TemporalEntity(T) \quad (7)$$

Poza tym:

$$Instant(t) \equiv begins(t, t) \quad (8)$$

$$Instant(t) \equiv ends(t, t) \quad (9)$$

Początek i koniec bytu temporalnego, jeśli istnieje, jest unikalny:

$$TemporalEntity(T) \wedge begins(t_1, T) \wedge begins(t_2, T) \rightarrow t_1 = t_2 \quad (10)$$

$$TemporalEntity(T) \wedge ends(t_1, T) \wedge ends(t_2, T) \rightarrow t_1 = t_2 \quad (11)$$

Predykat *TimeBetween* to relacja między bytem temporalnym a dwoma punktami:

$$\begin{aligned} & \textit{TimeBetween}(T, t_1, t_2) \rightarrow \\ & (\textit{TemporalEntity}(T) \wedge \textit{Instant}(t_1) \wedge \textit{Instant}(t_2) \wedge (\textit{Instant}(t_1) < \textit{Instant}(t_2) \vee \\ & \textit{Instant}(t_2) < \textit{Instant}(t_1) = \textit{Instant}(t_2))) \end{aligned} \quad (12)$$

Warunek zawarty w nawiasie powyższego wyrażenia:

$$\begin{aligned} & (\textit{Instant}(t_1) \wedge \textit{Instant}(t_2) \wedge (\textit{Instant}(t_1) < \textit{Instant}(t_2) \vee \textit{Instant}(t_2) < \\ & \textit{Instant}(t_1) = \textit{Instant}(t_2))) \end{aligned}$$

– oznacza, że punkty czasu leżą na tej samej gałęzi. Jego dodanie jest konieczne, ponieważ tylko na tej samej gałęzi (osi) czasu spełniony jest warunek ścisłego porządku liniowego, pozwalający obliczać wartość predykatu *TimeBetween*. Nie jest możliwe porównywanie odległości między punktami leżącymi na różnych osiach czasu.

5. Łączenie czasu i zdarzeń

Po przedstawieniu podstawowej ontologii czasu lewostronnie liniowego należy również rozważyć, jak czas łączy się ze zdarzeniami w świecie. Hobbs i Pan proponują użycie do tego celu czterech predykatów: *atTime*, *during*, *holds*, *timeSpan* [Hobbs, Pan 2004, s. 70] przy czym rozszerzamy w tym miejscu pojęcie zdarzenia. Klasyczna definicja (por. np. [Hajnicz 1996, s. 4]) mówi, że zdarzenie to dynamiczny obraz świata, powodujący zmiany w faktach. Idąc za Hobbsem i Panem, na potrzeby artykułu zdarzenie rozumieć będziemy bardzo szeroko – jako „cokolwiek, co może być ułożone w czasie” [Hobbs, Pan 2004, s. 70], a zatem nie tylko zdarzenie jako takie, lecz również stan, proces, zdanie logiczne itp.

Jak powiedziano, Hobbs i Pan proponują cztery predykaty. Ze względu na przyjęcie czasu dyskretnego nie przejmujemy do pracy predykatu *during* odnoszącego się do interwałów, a predykat *timeSpan* będzie mieć definicję okrojona w stosunku do oryginalnej (por. [Hobbs, Pan 2004, s. 71]).

Predykat *atTime* wiąże zdarzenie z punktem czasowym, jest zatem w świetle ontologii czasu dyskretnego kluczowy. Mówi, że zdarzenie wydarza się, zachodzi, ma miejsce w punkcie *t*.

$$\textit{atTime}(e, t) \rightarrow \textit{Instant}(t) \quad (13)$$

Predykat *holds* jest w zasadzie zdublowaniem predykatu *atTime*. W oryginalnym podejściu Hobbsa i Pana mówi on, że zdarzenie zachodzi w punkcie *t* lub nad interwałem *T*. Rezygnując z tego drugiego znaczenia ze względu na zakładaną dyskretność czasu, uzyskujemy zatem zdublowanie predykatów. Można zapisać:

$$\textit{holds}(e, t) \wedge \textit{Interval}(t) \equiv \textit{atTime}(e, t) \quad (14)$$

Wreszcie, predykat *timeSpan* wiąże zdarzenia z punktami (lub sekwencjami temporalnymi punktów) – jest to okrojona wersja oryginalnego predykatu Hobbsa i Pana, który wiązał zdarzenia również z interwałami i sekwencjami interwałów. Predykat ten ma zastosowanie do stanów bądź procesów przylegających do siebie w czasie, podaje cały zakres czasowy, w którym proces/stan ma miejsce. Formalnie:

$$timeSpan(T, e) \rightarrow TemporalEntity(T) \vee tseq(T) \quad (15)$$

gdzie *tseq(T)* to sekwencja punktów temporalnych.

Ponadto:

$$timeSpan(t, e) \wedge Instant(t) \rightarrow atTime(e, t) \quad (16)$$

$$timeSpan(t, e) \wedge Instant(t) \wedge t_1 \neq t \rightarrow \neg atTime(e, t_1) \quad (17)$$

Co prawda predykat *atTime* wiąże zdarzenie z konkretnym punktem czasowym, jednak nie jest to bezpośrednie połączenie zdarzenia z datą jego wystąpienia. Ponieważ daty w opisie rzeczywistości ekonomicznej są oczywiście niezbędne, powstaje problem, w jaki sposób do czasu rozgałęzionego w przód dowiązać czas kalendarzowy. Jak zauważył McDermott [McDermott 1982], dwie daty nie mogą być położone na dwóch różnych gałęziach czasu, natomiast jedna data (ta sama) może leżeć na wielu gałęziach, ponieważ gałęzie czasu są od siebie niezależne. Dlatego badacz ten uważał, że należy rozważać linię dat niezależną od głównej struktury czasu. Tym samym linia dat zachowuje porządek liniowy.

Jeżeli przyjmiemy rozwiązanie proponowane przez McDermotta, to dołączenie dat do czasu lewostronnie liniowego będzie wymagało poszerzenia struktury przedstawionej w punkcie 3. do następującej¹:

$$T = \langle T, D, <_u, <_{dd}, <_{td}, <_{dt} \rangle \quad (18)$$

gdzie *T* – zbiór punktów czasu, *D* – zbiór dat, *<_u* – wsteczny liniowy częściowy porządek nad *T*, *<_{dd}* – porządek liniowy nad *D*, *<_{td}* i *<_{dt}* to relacje poprzedzania łączące poprzednie dwa porządki. Powoduje to, że konieczne jest dodanie kilku nowych aksjomatów do tych przedstawionych w punkcie 2. Hajnicz nazywa je aksjomatami *quasi-przechodności*:

$$t_1 <_u t_2 \wedge t_2 <_{td} d \rightarrow t_1 <_{td} d \quad (19)$$

$$d_1 <_{dd} d_2 \wedge d_2 <_{dt} t \rightarrow d_1 <_{dt} t \quad (20)$$

$$d <_{dt} t_1 \wedge t_1 <_u t_2 \rightarrow d <_{dt} t_2 \quad (21)$$

$$d_1 <_{dt} t \wedge t <_{td} d_2 \rightarrow d_1 <_{dd} d_2 \quad (22)$$

$$t <_{td} d_1 \wedge d_1 <_{dd} d_2 \rightarrow t <_{td} d_2 \quad (23)$$

$$t_1 <_{td} d \wedge d <_{dt} t_2 \rightarrow t_1 \neq t_2 \wedge \neg(t_2 <_u t_1) \quad (24)$$

¹ Przedstawione rozwiązanie zaczerpnięto z pracy [Hajnicz 1996, s. 24-25].

Przyjmując poszerzoną strukturę czasu i dodatkowe aksjomaty, uzyskujemy teorię opisywaną przez takie terminy, jak przechodniość, antysymetria, wsteczna liniowość i quasi-przechodniość. W połączeniu z przedstawioną w punkcie 3. ontologią czasu lewostronnie liniowego, daje nam ona możliwość osadzania temporalnego zjawisk ekonomicznych.

6. Podsumowanie

W artykule przedstawiono podstawową ontologię czasu rozgałęzionego w przód (lewostronnie liniowego), dla opisu rzeczywistości ekonomicznej. Przedstawiono motywację dla wyboru takiej struktury czasu. Następnie zmodyfikowano ontologię Hobbsa i Pana, rozszerzając ją na czas nieliniowy. Kolejnym krokiem było przedstawienie, w jaki sposób do tak opisanego czasu dołączać linię dat. Połączono tu zmodyfikowane wcześniej rozwiązanie z propozycją McDermotta i Hajnicz, uzyskując kompletny model czasu umożliwiający temporalne osadzanie zjawisk ekonomicznych.

Podstawowym wnioskiem, jaki płynie z artykułu, jest to, że klasyczna struktura czasu liniowego jest zbyt uproszczona i nieadekwatna dla złożonej rzeczywistości gospodarczej. Jednak – to kolejny wniosek – sama ontologia czasu, nawet nieliniowego, również nie jest wystarczająca. Konieczne jest również umożliwienie dołączania dat, ponieważ działalność gospodarcza ze swej natury rejestrowana jest w czasie kalendarzowym. Stąd zaistniała konieczność poszerzenia oryginalnej propozycji Hobbsa i Pana o rozwiązanie zastosowane przez Hajnicz, wprowadzające dodatkowe aksjomaty.

Z dotychczasowych rozważań wyłania się kilka potencjalnych kierunków dalszych badań. Pierwszym jest opracowanie ontologii dla wybranego fragmentu dziedziny ekonomicznej, a następnie próba połączenia tej ontologii z ontologią przedstawioną w niniejszym artykule. Jako przykład dziedziny ekonomicznej można wskazać bariery wejścia na rynek. Są one interesujące, ponieważ stanowią doskonałą egzemplifikację otoczenia ekonomicznego jako całości: są heterogeniczne, zmienne w czasie, posiadają charakter ilościowy lub jakościowy, ciągły bądź dyskretny. Drugim kierunkiem badań jest implementacja ontologii czasu nieliniowego w temporalnym systemie inteligentnym. Na celowość wykorzystania takiego typu systemu w zastosowaniach ekonomicznych wskazano np. w pracy [Mach 2007]. W systemie temporalnym zakłada się, że baza wiedzy sformułowana jest w logice temporalnej (lub logikach), zakłada zatem jawne odniesienia do czasu. Występują one również w mechanizmie wnioskowania. Wydaje się, że implementacja ontologii czasu nieliniowego byłaby celowa przynajmniej w warstwie wnioskującej systemu.

Literatura

- Bennett B., Galton A.P., 2004, *A unifying semantics for time and events*, Artificial Intelligence, t. 153, s. 13-48.
- Eder J., Koncilia C., 2005, *Interoperability in Temporal Ontologies*, Springer, Porto.

- Grenon P., 2003, *The Formal Ontology of Spatio-Temporal Reality and its Formalization*, AAAI.
- Hajnicz E., 1996, *Time Structures. Formal Description and Algorithmic Representation*, Springer, Berlin.
- Hobbs J.R., Pan F., 2004, *An Ontology of Time for the Semantic Web*, ACM Transactions on Asian Language Information Processing, March, 3(1), s. 66-85.
- Klimek R., 1999, *Wprowadzenie do logiki temporalnej*, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków.
- Mach M.A., 2007, *Temporalna analiza otoczenia przedsiębiorstwa. Techniki i narzędzia inteligentne*, Wydawnictwo AE, Wrocław.
- McDermott D., 1982, *A Temporal Logic for Reasoning about Processes and Plans*, Cognitive Science, t. 6, s. 101-155.
- Perry M., Hakimpour F., Sheth, A., 2006. *Analyzing Theme, Space, and Time: An Ontology-based Approach*, New York, ACM, s. 147-154.
- Przybyłowski K., Hartley S.W., Kerin R.A., Rudelius W., 1998, *Marketing. Pierwsza polska edycja*, Dom Wydawniczy ABC Sp. z o.o., Warszawa.
- Salguero A., Araque F., Delgado C., 2008, *Spatio-temporal ontology based model for Data Warehousing*, WSEAS. Istanbul, s. 125-130.
- Sowa J., 2000, *Knowledge representation*, Pacific Grove, CA: Brooks/Cole.
- Vila L., 1994, *A Survey on Temporal Reasoning in Artificial Intelligence*, AI Communications, Issue 7(1), s. 4-28.

NONLINEAR TIME ONTOLOGY FOR THE DESCRIPTION OF ECONOMIC REALM

Summary: The paper concerns the question of establishing such a time ontology that would enable to depict in a precise manner changes in discontinuous, turbulent environment of enterprises. It is necessary if one wants to build a temporal analytical model of this environment, capable of indicating the most important changes, their reasons, directions and effects, as well as their influence on enterprise's operations. It is indispensable to take into account the features of the environment being analyzed, and to properly adjust the ontology of time. In the paper an ontology of time is proposed, that is well suited to depicting and analyzing the turbulent economic environment of an enterprise. The main aim of the paper is to analyze the specific features of economic realm, which determine the time structure, and to present a proposal of time ontology suited for economic analyses.

Keywords: ontology, time, temporal analysis, strategic analysis.