



Andrzej Bytniewski

Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu
Wydział Inżynieryjno-Ekonomiczny
Katedra Rachunkowości, Controllingu,
Informatyki i Metod Ilościowych
andrzej.bytniewski@ue.wroc.pl

Marcin Hernes

Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu
Wydział Inżynieryjno-Ekonomiczny
Katedra Rachunkowości, Controllingu,
Informatyki i Metod Ilościowych
marcin.hernes@ue.wroc.pl

Marcin Maleszka

Politechnika Wroclawska
Wydział Informatyki i Zarządzania
Katedra Systemów Informatycznych
marcin.maleszka@pwr.edu.pl

Ngoc Thanh Nguyen

Politechnika Wroclawska
Wydział Informatyki i Zarządzania
Katedra Systemów Informatycznych
ngoc-thanh.nguyen@pwr.edu.pl

Jadwiga Sobieska-Karpińska

Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa
im. Witelona w Legnicy
Wydział Nauk Technicznych i Ekonomicznych
Zakład Nauk Ekonomicznych
jadwiga.sobieska.karpinska@gmail.com

KONCEPCJA WIELOAGENTOWEGO SYSTEMU WCZESNEGO OSTRZEGANIA PRZED SYTUACJAMI KRYZYSOWYMI W GOSPODARCE

Streszczenie: Funkcjonujące dotychczas systemy wczesnego ostrzegania przed sytuacjami kryzysowymi w gospodarce odnoszą się jedynie do konkretnych branż lub grup kilku branż w gospodarce i są skierowane przeważnie do wybranych grup użytkowników. Występowanie niekorzystnych zjawisk gospodarczych w całej przestrzeni gospodarczej wymaga jednak uniwersalnego podejścia do konstrukcji systemów wczesnego ostrzegania. W artykule opracowano koncepcję systemu obejmującego swoim zakresem zarówno użytkowników indywidualnych i przedsiębiorstwa, jak i całe gospodarki w ujęciu globalnym. System ten składa się z następujących modułów: konwersji istniejących i nowo tworzonych modeli systemów wczesnego ostrzegania, kolektywów człowiek-agent oraz integracji, oceny wiedzy i personalizacji. Funkcjonowanie tego typu systemu może wpłynąć na wzrost poziomu skuteczności prognoz ostrzegawczych oraz na wzrost poziomu efektywności decyzji umożliwiających podjęcie działań wyprzedzających, co w konsekwencji może ograniczać skutki kryzysów w gospodarce.

Słowa kluczowe: system wczesnego ostrzegania, systemy wieloagentowe, prognozy gospodarcze.

JEL Classification: M41, C88.

Wprowadzenie

Kryzysy ekonomiczne¹ występujące w ostatnich dekadach miały negatywny wpływ nie tylko na gospodarki poszczególnych krajów, ale bezpośrednio lub pośrednio na gospodarkę prawie całego świata. W rezultacie spowodowało to, że wiele organizacji międzynarodowych, rządowych oraz sektora prywatnego zintensyfikowało wysiłki mające na celu rozwój systemów wczesnego ostrzegania (SWO) w rozumieniu systemów monitorujących, których celem jest konstruowanie prognoz ostrzegawczych dotyczących wystąpienia w przyszłości kryzysu ekonomicznego oraz alarmowanie osób podejmujących decyzje, by móc zainicjować działania wyprzedzające [Jung, Jeong, 2011]. Należy podkreślić, że prognozy ostrzegawcze stanowią specyficzny rodzaj przewidywania, ponieważ próbuje się w nich odpowiedzieć na pytanie, czy wielkość zjawiska gospodarczego w przyszłości wykaże spadek lub wzrost w stosunku do wielkości zaobserwowanej w momencie formułowania prognozy [Siedlecka, 1993; Lin i in., 2008]. Prognozy ostrzegawcze mogą obejmować swoim zasięgiem różny poziom (tzw. granulację) działalności gospodarczej, czyli poziomy [Siedlecka, 1993]:

- lokalny – odnoszący się do poszczególnych przedsiębiorstw lub osób fizycznych,
- rozsiany – nawiązujący do branż gospodarki,
- zintegrowany – obejmujący gospodarkę kraju, grupy krajów (np. Unii Europejskiej) lub gospodarkę globalną.

Współcześnie funkcjonuje wiele SWO², jednakże każdy z nich jest wąsko zakresowy, czyli rozpościera swój zasięg jedynie na dwa pierwsze poziomy granulacji: lokalny i rozsiany (np. tylko na rynki finansowe lub wyłącznie na kondycję przedsiębiorstw), a kryzysy oddziałują często na szerszy wymiar przestrzeni gospodarczej.

Występowanie niekorzystnych zjawisk gospodarczych, obejmujących swoim oddziaływaniem (skutkami) rozległe obszary działalności gospodarczej, wymaga uniwersalnego podejścia do konstrukcji systemów wczesnego ostrzegania.

¹ W encyklopedii PWN kryzys ekonomiczny został zdefiniowany jako gwałtowne zmniejszenie się aktywności gospodarczej (produkcji, zatrudnienia, inwestycji) [www 1].

² Niektóre z nich zostały scharakteryzowane w dalszej części artykułu.

System ten powinien zawierać się na każdym poziomie granulacji. Bardzo istotna jest również możliwość korzystania z systemu przez różne grupy użytkowników (osoby prawne lub fizyczne, np. przedsiębiorcy, urzędnicy administracji rządowej i samorządowej, a także użytkownicy indywidualni). W systemie powinny znajdować się zarówno istniejące SWO, jak i nowo tworzone rozwiązania obejmujące branże, które takich systemów nie mają.

Celem artykułu jest opracowanie koncepcji uniwersalnego wieloagentowego systemu informatycznego wczesnego ostrzegania przed sytuacjami kryzysowymi w gospodarce, obejmującego swoim zakresem wszystkie trzy poziomy granulacji, z którego mogą korzystać różne grupy użytkowników. W pierwszej części dokonano przeglądu istniejących rozwiązań. Następnie przedstawiono metodologię badań, która doprowadziła do stworzenia koncepcji systemu. W kolejnej sekcji zaprezentowano opracowaną koncepcję wieloagentowego systemu wczesnego ostrzegania. W końcowej części dokonano podsumowania prowadzonych badań.

1. Przegląd istniejących rozwiązań w zakresie systemów wczesnego ostrzegania

W literaturze przedmiotu spotyka się wiele metod mających na celu zrozumienie zasad występowania kryzysów ekonomicznych oraz budowę SWO generujących ostrzeżenia przed tymi kryzysami. Jedną z pierwszych koncepcji ostrzegania przed bankrutstwem przedsiębiorstwa została opracowana przez Hellwiga [1985]. Wykorzystano w niej metodę wielowymiarowej analizy porównawczej, która była następnie rozwijana w pracach Siedleckiej [1993]. Edison [2003] użył metody analizy sygnałów, w której najczęściej bada się zmiany wartości odpowiednio dobranych wskaźników ekonomicznych. Jeśli wartość któregoś z tych wskaźników przekroczy zadany poziom, SWO generuje alarm. W niektórych pracach badawczych SWO rozpatrywany jest również jako problem rozpoznawania obrazów. Wyróżniona cecha kryzysu pozwala odróżnić go od normalnych sytuacji ekonomicznych z wykorzystaniem metody klasyfikatora wzorców [Kim i in., 2009; Mitra, Erum, 2012]. Klasyfikator ten (może to być np. sztuczna sieć neuronowa) wykorzystywany jest w celu uczenia się SWO na podstawie doświadczenia związanego z występowaniem kryzysów w przeszłości oraz do testowania SWO.

Podjęcie agentowe w modelowaniu SWO zaprezentowano na przykład w pracy Catullo i in. [2017]. Agenty programowe tworzą sztuczną sieć kredytową, która ewoluuje endogenicznie zgodnie z wyborem dźwigni heterogenicz-

nych firm i banków. Prace dotyczące zaś rozwiązań praktycznych w zakresie koncepcji systemów realizujących prognozy ostrzegawcze prowadzono już w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku [Hellwig, 1985], jednak ograniczona dostępność danych i ograniczona wydajność technologii informacyjno-komunikacyjnych stanowiły czynniki znacznie utrudniające realizację praktyczną tych prognoz. Dopiero obecnie pojawiły się możliwości technologiczne w zakresie konstruowania tego typu systemów. Zaczęły powstawać systemy SWO wąsko zakresowe. Dla przykładu, Korol [2003] wykorzystał metody statystyczne (analiza dyskryminacyjna, drzewa decyzyjne) oraz techniki sztucznej inteligencji (sztuczne sieci neuronowe) w przewidywaniu bankructwa przedsiębiorstw w Ameryce Łacińskiej i Europie Centralnej, biorąc pod uwagę okres jednego roku lub dwóch lat przed bankructwem.

Wiele SWO funkcjonujących w praktyce odnosi się do rynków finansowych. Na przykład Yoon i Park [2014] wykorzystali metodę wskaźnika niestabilności rynku (*Market Instability Index* – MII) oraz krokowych poziomów ostrzegania przed kryzysem finansowym, pozwalających diagnozować poziom niestabilności rynku papierów wartościowych w celu prognozowania jego zachowania w przyszłości. Metoda ta pozwala podejmować odpowiednie działania wyprzedzające zgodnie z różnymi poziomami ostrzegania przed kryzysem, a jej skuteczność została potwierdzona na rynkach koreańskim oraz greckim. Autorzy pracy [Azis, Shin, 2015] wykorzystują w opracowanym przez siebie modelu agregaty pieniężne oraz wskaźniki behawioralne w celu generowania sygnałów ostrzegawczych na rynkach finansowych. W pracy [Bussiere, Fratzscher, 2006] z kolei wykorzystano w tym celu wielomianowy model logitowy. SWO przedstawiony w pracy [Sztójanov, Stamatescu, Sztójanov, 2016] sygnały ostrzegawcze generowane są przez rozmyty system wnioskowania.

Różnorodność metod i technologii informacyjno-komunikacyjnych stosowanych w SWO stworzyła potrzebę opracowania standardu ogólnego modelu SWO. Standard ten został opracowany dopiero w 2006 roku przez organizację UN/ISDR Platform for the Promotion of Early Warning. Składa się on z następujących modułów [Wiltshire, 2006]:

1. Moduł monitorowania i ostrzegania. Jego funkcjonowanie polega na ocenie sytuacji gospodarczej oraz generowaniu ostrzeżeń i alarmów. Moduł ten współpracuje z modułem wiedzy na temat ryzyka, a uzyskane wyniki są następnie przesyłane do modułu rozpowszechniania i komunikacji.
2. Moduł wiedzy na temat ryzyka. Funkcjonowanie tego modułu opiera się na ocenie ryzyka wystąpienia kryzysu w przyszłości, na podstawie wzorców tworzonych przez ekspertów. W module realizowany jest również proces

uczenia się na podstawie doświadczenia, czyli sytuacji gospodarczych występujących w przeszłości, które związane były z wystąpieniem kryzysu. Moduł ten współpracuje z modułem monitorowania i ostrzegania.

3. Moduł rozpowszechniania i komunikacji. Funkcjonowanie modułu polega na prezentowaniu użytkownikom wiadomości dotyczących aktualnej sytuacji gospodarczej, poziomu ryzyka oraz ostrzeżeń i alarmów.
4. Moduł odpowiedzi. Jego funkcjonowanie realizuje się w reakcji na możliwość wystąpienia sytuacji kryzysowej i podpowiadaniu, sugerowaniu, jakie decyzje powinien podjąć użytkownik, a nawet na automatycznej reakcji (podejmowaniu decyzji, działań) na możliwość wystąpienia sytuacji kryzysowej³.

Jednakże model ten jest również wykorzystywany jedynie w odniesieniu do lokalnego i rozszanego poziomu granulacji. Należy również zauważyć, że wiele z dotychczasowych systemów podlega tak zwanemu obciążeniu po kryzysie [Bussiere, Fratzscher, 2006]. Zjawisko to pojawia się, gdy nie dokonują one różniczenia pomiędzy okresami spokoju a okresami kryzysowymi, kiedy podstawy ekonomiczne są w dużej mierze zdrowe i zrównoważone, ze względu na fakt, że po kryzysie zmienne ekonomiczne przechodzą proces dostosowawczy, zanim osiągną bardziej zrównoważony poziom lub ścieżkę wzrostu. Należy przy tym podkreślić, że w realizacji SWO stosowano dotychczas technologie informacyjno-komunikacyjne, które umożliwiają jedynie analizę formy informacji, powiązań pomiędzy wartościami ekonomicznymi, natomiast nie wspomagają procesu analizy ich znaczenia (semantyki).

2. Metodologia badań

W procesie tworzenia koncepcji uniwersalnego, wieloagentowego systemu wczesnego ostrzegania przyjęto następującą metodologię badań:

- analizę źródeł literaturowych, scharakteryzowanych częściowo w poprzednim punkcie artykułu, w tym w szczególności dotyczących standardu ogólnego systemu wczesnego ostrzegania,
- studia przypadku i obserwację zjawisk w celu wykorzystania istniejących rozwiązań praktycznych, zarówno tych przedstawionych w artykule, jak również wynikających z doświadczeń praktycznych autorów we wdrażaniu systemów informatycznych funkcjonujących w organizacjach gospodarczych,

³ Na przykład system prognozuje sytuację kryzysową na rynku walutowym i podejmuje automatycznie decyzję o zakończeniu przez inwestora inwestycji na tym rynku.

- studium przypadku polegające na analizie zastosowania w opracowanej koncepcji SWO nowoczesnych technologii informacyjno-komunikacyjnych, takich jak: chmura obliczeniowa, bazy danych in-memory czy też agenty kognitywne [Bytniewski, Hernes, 2014] – wynika to przede wszystkim z faktu istnienia zjawiska Big Data i potrzeby przetwarzania przez SWO strumienia dużej ilości często nieustrukturalizowanych danych w czasie zbliżonym do rzeczywistego,
- analizę funkcjonowania kolektywów człowiek-agent [Jennings i in., 2014], charakteryzujących się posiadaniem wiedzy pochodzącej z autonomicznych i rozproszonych źródeł,
- analizę metod integracji wiedzy.

Należy jednocześnie podkreślić, że wykorzystanie nowoczesnych technologii informatycznych, wzrost zdolności obliczeniowych komputerów oraz możliwość wykorzystania istniejących SWO stanowią przesłanki do opracowania uniwersalnego SWO, umożliwiającego wyeliminowanie niedomagań dotychczasowych systemów. Koncepcja takiego SWO została przedstawiona w następnej części artykułu.

3. Koncepcja systemu

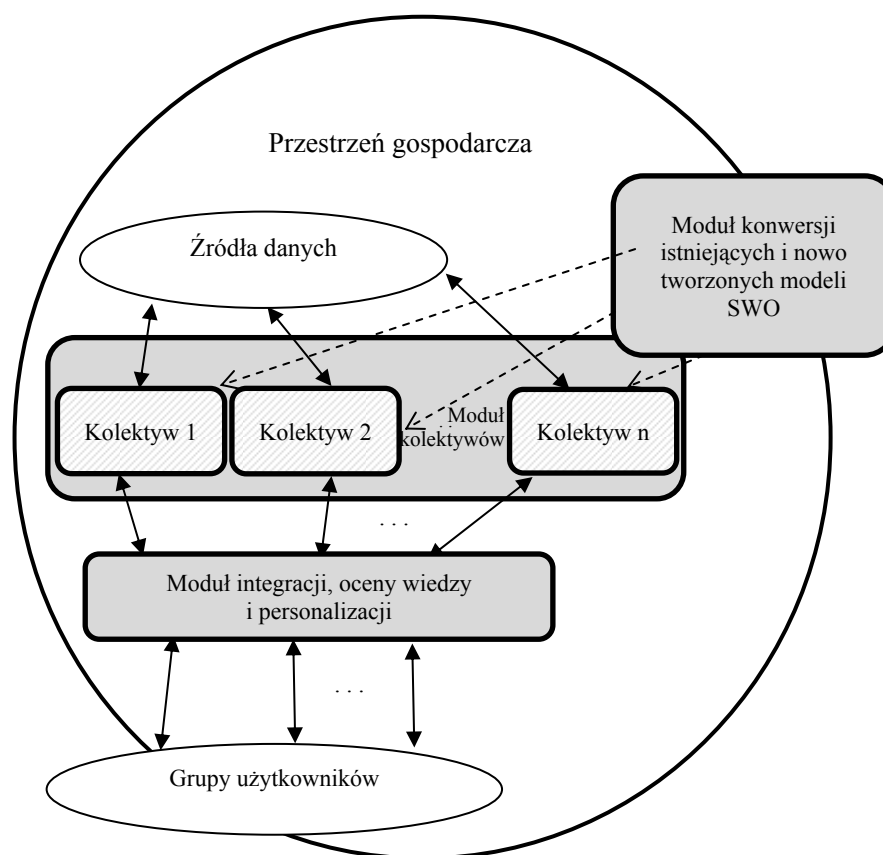
W proponowanej koncepcji uniwersalny, wieloagentowy system wczesnego ostrzeżenia składa się z następujących komponentów (rys. 1):

1. **Moduł konwersji istniejących i nowo tworzonych modeli SWO.** Funkcjonowanie modułu polega na dokonywaniu przez agenty kognitywne konwersji modeli wąsko zakresowych (istniejących oraz nowo tworzonych) systemów wczesnego ostrzeżenia, utworzonych z wykorzystaniem standardu ogólnego modelu SWO, na uniwersalny język opisu tych modeli. Rezultaty konwersji zapisywane są w bazie wiedzy poszczególnych agentów kognitywnych funkcjonujących w ramach danego kolektywu.
2. **Moduł kolektywów człowiek-agent.** Moduł wykorzystuje **źródła danych** znajdujące się głównie w sieci Internet, udostępniane przez różnego rodzaju krajowe i światowe organizacje gromadzące i opracowujące dane statystyczne, jak również przez przedsiębiorstwa i urzędy administracji publicznej. Funkcjonowanie modułu polega na analizie przestrzeni gospodarczej przez każdego członka kolektywu (eksperta lub agenta). Analiza ta zawiera się w poszukiwaniu i pozyskiwaniu danych dotyczących wartości parametrów tej przestrzeni (np. poziomy PKB, inflacji, kursy walut, opinie o produktach),

atrybutów obiektów znajdujących się w otoczeniu (np. cechy produktu, atrybuty instytucji finansowej, takie jak wskaźnik pokrycia rezerwą kredytów niepracujących, współczynnik wypłacalności), działań (np. zatrudnianie i zwalnianie pracowników, podjęcie inwestycji), zdarzeń (m.in. otrzymanie zamówienia, wytworzenie produktów, zmiana stóp procentowych). Każdy agent funkcjonuje z wykorzystaniem innego modelu systemu wczesnego ostrzegania (zapisanego w jego bazie wiedzy w wyniku funkcjonowania modułu konwersji istniejących i nowo tworzonych modeli SWO). Podkreśla się, że agenty kognitywne przetwarzają wiedzę zapisaną, między innymi w postaci sieci semantycznych, co umożliwia analizę znaczenia obserwowanych zjawisk [Sobieska-Karpińska, Hernes, 2014]. Natomiast zadaniem każdego eksperta jest opracowywanie opinii dotyczącej obecnej sytuacji gospodarczej. Każdy kolektyw człowiek-agent analizuje gospodarkę na innym poziomie granulacji. Członkowie kolektywu realizują również proces permanentnego uczenia się. W wyniku analizy generowana jest wiedza członków kolektywu dotycząca sygnałów ostrzegawczych oraz propozycji decyzji pozwalających ograniczać skutki wystąpienia kryzysu. Wiedza reprezentowana jest za pomocą złożonej struktury wiedzy (składającej się np. z różnego typu zmiennych, zbiorów, ontologii) i przesyłana do modułu integracji, oceny wiedzy i personalizacji.

- 3. Moduł integracji, oceny wiedzy i personalizacji.** Funkcjonowanie modułu polega na dokonywaniu przez agenty kognitywne pomiaru spójności wiedzy, integracji wiedzy [Nguyen, 2008] (zarówno poszczególnych członków kolektywów, jak i wszystkich kolektywów), oceny na dwóch poziomach: spójności wiedzy oraz skuteczności prognoz. W module przeprowadzany jest również proces personalizacji, czyli dostosowania systemu do wymagań określonych przez poszczególne grupy użytkowników. Wynikiem funkcjonowania modułu są spersonalizowane informacje, wiedza, rezultaty oceny i propozycje decyzji, które przesyłane są do poszczególnych grup użytkowników (decyzje mogą być również podejmowane automatycznie przez system). Rezultaty oceny przesyłane są także do poszczególnych kolektywów, jako informacja zwrotna umożliwiająca proces uczenia się agentów.

Wyniki funkcjonowania systemu mogą być wykorzystywane **grupy użytkowników**, których wymagania odnośnie prognoz ostrzegawczych dotyczą różnych poziomów granulacji.



Legenda:

↔ – przepływ danych, informacji, wiedzy

← - - - - - – włączenie skonwertowanych modeli w strukturę agenta kognitywnego

Rys. 1. Koncepcja uniwersalnego, wieloagentowego systemu wczesnego ostrzegania przed sytuacjami kryzysowymi w gospodarce

Źródło: Opracowanie własne.

W zaproponowanej koncepcji uniwersalny, wieloagentowy system wczesnego ostrzegania posiada następujące właściwości:

1. Globalny charakter – system odnosi się zarówno do gospodarek poszczególnych krajów, jak i do gospodarek grupy krajów (np. Unii Europejskiej) oraz gospodarki globalnej.
2. Przetwarzanie danych w czasie zbliżonym do rzeczywistego, dzięki wykorzystaniu nowoczesnych technologii informacyjno-komunikacyjnych oraz możliwości równoległego przetwarzania danych przez programy agentowe. Cecha ta umożliwia funkcjonowanie systemu w środowisku Big Data.

3. Możliwość automatycznej analizy przez agenty kognitywne znaczenia (semantyki) obserwowanych zjawisk gospodarczych.
4. Realizacja przez kolektywy człowiek-agent procesu ciągłego uczenia się (również poprzez doświadczenie), co umożliwi posiadanie najbardziej aktualnej wiedzy dotyczącej sytuacji gospodarczej.
5. Realizowanie procesu integracji wiedzy związanej ze wszystkimi poziomami granulacji.
6. Możliwość dołączenia nowych modeli SWO (np. w odniesieniu do nowych branż) w trakcie funkcjonowania systemu.
7. Szeroki zakres personalizacji – możliwość ustawiania parametrów w odniesieniu do osób indywidualnych, przedsiębiorstw i całych gospodarek.

Podsumowanie

Zaproponowana w niniejszym artykule koncepcja uniwersalnego, wieloagentowego systemu wczesnego ostrzegania przed sytuacjami kryzysowymi w gospodarce może pozwolić różnym grupom użytkowników w szerokim zakresie ograniczać skutki kryzysów ekonomicznych. Możliwość dołączenia nowych modeli systemów wczesnego ostrzegania umożliwi konstruowanie prognoz z wykorzystaniem aktualnych metod i technologii. Wykorzystanie agentów kognitywnych umożliwi automatyczną analizę znaczenia zjawisk zachodzących w przestrzeni gospodarczej, natomiast integracja wiedzy może prowadzić do ograniczenia efektu obciążenia po kryzysie. W konsekwencji może to wpłynąć na wzrost poziomu skuteczności prognoz ostrzegawczych oraz na wzrost poziomu efektywności decyzji umożliwiających podjęcie działań wyprzedzających.

Zaproponowana koncepcja SWO ma jednak pewne ograniczenia. Istotnym problemem jest uzyskanie odpowiedniej wiarygodności źródeł danych, na podstawie których funkcjonuje system. Ważnym ograniczeniem są również uwarunkowania prawne dotyczące wielu obszarów gospodarki, zarówno w aspekcie dostępu do danych (np. niejawnych), jak i w aspekcie wykorzystania sygnałów ostrzegawczych (m.in. przepisy prawa mogą ograniczać realizację decyzji podjętych na podstawie tych sygnałów). Istotne są również uwarunkowania techniczne i organizacyjne związane z realizacją opracowanej koncepcji SWO. Dla przykładu, dostęp do nowoczesnych technologii jest bardzo kosztowny. Realizacja systemu wymaga również zastosowania skutecznych systemów bezpieczeństwa.

W niniejszym artykule zostały przedstawione jedynie ogólne założenia koncepcji SWO, natomiast dalsze prace badawcze będą poświęcone uszczegółowieniu tych założeń, jak również problematyce wiarygodności danych oraz zabezpieczeń systemu.

Literatura

- Azis I.J., Shin H.S. (2015), *Early Warning Indicators for Financial Vulnerabilities* [w:] I.J. Azis, H.S. Shin (eds.), *Managing Elevated Risk*, Springer, Singapore, s. 45-60.
- Bussiere M., Fratzscher M. (2006), *Towards a New Early Warning System of Financial Crises*, "Journal of International Money and Finance", No. 25(6), s. 953-973.
- Bytniewski A., Hernes M. (2014), *Wykorzystanie kognitywnych programów agentowych w procesie zarządzania wiedzą w organizacji gospodarczej*, „E-mentor”, nr 2(54), Szkoła Główna Handlowa w Warszawie, s. 40-45.
- Catullo E., Palestrini A., Grilli R., Gallegati M. (2017), *Early Warning Indicators and Macro-Prudential Policies: A Credit Network Agent Based Model*, "Journal of Economic Interaction and Coordination", 26, s. 1-35, <https://link.springer.com/article/10.1007/s11403-017-0199-y> (dostęp: 25.02.2017).
- Edison H.J. (2003), *Do Indicators of Financial Crises Work? An Evaluation of an Early Warning System*, "International Journal of Finance & Economics", Vol. 8, Iss. 1, s. 11-53.
- Hellwig Z. (1985), *Warning Forecasts*, Prace Naukowe Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, nr 301, Wrocław.
- Jennings N.R., Moreau L., Nicholson D., Ramchurn S., Roberts S., Rodden T., Rogers A. (2014), *Human-Agent Collectives*, "Communications of the ACM", No. 57(12), s. 80-88.
- Jung H., Jeong H.Y. (2011), *Early Warning Systems in the Republic of Korea: Experiences, Lessons, and Future Steps*, ADB Working Paper series on Regional Economic Integration, No. 77.
- Kim D.H., Lee S.J., Oh K.J., Kim T.Y. (2009), *An Early Warning System for Financial Crisis Using a Stock Market Instability Index*, "Expert Systems", No. 26(3), s. 260-273.
- Korol T. (2003), *Early Warning Models Against Bankruptcy Risk for Central European and Latin American Enterprises*, "Economic Modelling", Vol. 31, s. 22-30.
- Lin C., Khan H.A., Chang R., Wang Y. (2008), *A New Approach to Modeling Early Warning Systems for Currency Crises: Can a Machine-Learning Fuzzy Expert System Predict the Currency Crises Effectively?* "Journal of International Money and Finance", No. 27(7), s. 1098-1121.
- Mitra S., Erum (2012), *Early Warning Prediction System for High Inflation: An Elitist Neuro-genetic Network Model for the Indian Economy*, "Neural Computing and Applications", No. 22(1), s. 447-462.
- Nguyen N.T. (2008), *Advanced Methods for Inconsistent Knowledge Management*, Springer-Verlag, London.
- Siedlecka U. (1993), *Prognozy ostrzegawcze*, Prace Naukowe Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, nr 651, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, Wrocław.

- Sobieska-Karpińska J., Hernes M. (2014), *Identification of the Knowledge Conflicts' Sources in the Architecture of Cognitive Agents Supporting Decision-making Process* [w:] Proceedings of Federated Conference Computer Science and Information Systems (FedCSIS), Warszawa.
- Sztojanov E., Stamatescu G., Sztojanov I. (2016), *Early-Warning of Financial Crises Based on Fuzzy Logic*, "Soft Computing Applications. Advances in Intelligent Systems and Computing", Vol. 357, V. Balas, L. Jain, B. Kovačević (eds.), Springer, Cham, s. 1109-1118.
- Wiltshire A. (2006), *Developing Early Warning Systems: A Checklist*, Proceedings of the 3rd International Conference on Early Warning EWC III, Bonn, Germany.
- Yoon W.J., Park K.S. (2014), *A Study on the Market Instability Index and Risk Warning Levels in Early Warning System for Economic Crisis*, "Digital Signal Processing", Vol. 29, s. 35-44, <http://dx.doi.org/10.1016/j.dsp.2013.09.011> (dostęp: 27.02.2017).
- [www 1] *Kryzys ekonomiczny*, <http://encyklopedia.pwn.pl/haslo/kryzys-ekonomiczny;3928086.html> (dostęp: 01.03.2017).

A CONCEPTION OF MULTI-AGENT EARLY WARNING SYSTEM FOR CRISIS IN ECONOMY

Summary: So far early warning systems for crises in the economy refer only to specific industries or groups of several industries in the economy and are directed mainly to selected groups of users. The occurrence of unfavorable economic phenomenon across the economic space, however, requires an universal approach to the construction of an early warning systems. Therefore, the concept of a system that includes both individual users and enterprises, as well as entire economies in a global perspective, have been developed in this paper. The system consists of the following modules: conversion of existing and newly created models of early warning systems, human-agent collectives and integration, knowledge assessment and personalization. The functioning of this type of system may affect the increase of the effectiveness of warning forecasts and the increase in the level of effectiveness of decisions allowing for taking pre-emptive actions, which in consequence may limit the effects of crises in the economy.

Keywords: early warning systems, multi-agent systems, economic forecasts.