

## MODELOWANIE PROCESÓW PAMIĘCIOWYCH WSPOMAGANE METODAMI GENETYCZNYMI

Tomasz WÓJCICKI

Instytut Technologii Eksploatacji – PIB w Radomiu  
tel.: 48 364-92-61 e-mail: tomasz.wojcicki@itee.radom.pl

**Streszczenie:** W artykule zaprezentowano autorski model wspomagania procesów pamięciowych związanych z przyswajaniem wiedzy z dowolnego obszaru dziedzinowego przy wykorzystaniu technologii informatycznych. Opracowana metoda wspomagania procesów pamięciowych dotyczy działań zamierzonych, w przeciwieństwie do działań o charakterze samorzutnym (mimowolnym - zachodzących bez świadomej decyzji). Opisane w pracy rozwiązanie umożliwia identyfikację optymalnych metod reprezentacji wiedzy podczas procesu jej kodowania dla pojedynczej osoby, charakteryzującej się unikalnymi cechami, a także planowanie rozkładu jednostek informacyjnych w celu ich utrwalenia. W artykule przedstawiono założenia modelowe, jego główne struktury, które zostały opisane również w sposób formalny, oraz wykorzystane metody genetyczne, a także przykładowe rezultaty. Zaprezentowano wyniki analizy stanu wiedzy dotyczącej procesów pamięciowych, w tym metod odwzorowania krzywej zapomnienia i analizę głównych zalet oraz ograniczeń opracowanego rozwiązania.

**Słowa kluczowe:** procesy pamięciowe, pamięć, algorytm genetyczny, krzywa zapomnienia, modelowanie, uczenie się.

### 1. WPROWADZENIE

Pamięć odgrywa znaczącą rolę w procesach uczenia się. Umiejętność efektywnego utrwalania wiedzy w strukturach mózgowych to również szybsze nabywanie kompetencji i kwalifikacji niezbędnych na rynku pracy. Pamięć jest zdolnością do rejestrowania i odtwarzania bodźców z otoczenia oraz skojarzeń wytworzonych w procesach myślowych. Jest to cecha bez której nie jest możliwe autonomiczne funkcjonowanie człowieka w środowisku rzeczywistym. Mózg człowieka posiada cechę zapamiętywania nie tylko bodźców zewnętrznych, ale również przechowywania i odtwarzania informacji związanych z analizą opartą na własnej świadomości [1][2]. Procesy pamięciowe realizowane przez ludzi jak i inne istoty żywe opierają się na reakcjach chemicznych zachodzących w sieci neuronowej mózgu. Pomiędzy neuronami następuje aktywacja połączeń synaptycznych, która może utrzymywać się przez określony czas, zależny między innymi od intensywności bodźców aktywujących. Utrwalenie informacji w pamięci to uwrażliwienie neuronów postsynaptycznych na kwas glutaminowy oraz jednocześnie zwiększenie uwalniania tego przekaźnika w zakończeniach presynaptycznych, i jest to tzw. długotrwałe wzmocnienie synaptyczne (LTP - Long-term potentiation). Zjawisko LTP powoduje, że połączenia neuronowe częściej używane stają

się wydajniejsze. Mechanizm ten jest podstawą uczenia się oraz zapamiętywania informacji (tzw. ślad pamięciowy [3]). Badania na Columbia University [4] wykazały, że trwałe zmiany w mikrostrukturach synaps związane ze zjawiskiem LTP zachodzą już po 5-10 minutach od indukcji i przebiegają równolegle w obrębie błon postsynaptycznych oraz presynaptycznych. Złożoność ludzkiego mózgu powoduje jednak, że rozważania dotyczące jego funkcjonowania wyłącznie w oparciu o zjawiska fizyczno-chemiczne w strukturach biologicznych są niepełne. Zwierzęta mają zdolność do zapamiętywania prostych skojarzeń, ich pamięć pozwala na wyciąganie logicznych wniosków z nabytych doświadczeń jedynie w ograniczonym zakresie, w przeciwieństwie do ludzi, którzy posiadając złożoną samoświadomość mogą przewidywać z określonym wyprzedzeniem ciągi zdarzeń. Inną cechą charakterystyczną ludzi jest umiejętność utrwalania wiedzy w formie dostępnej dla innych, co daje możliwość przyswojenia tej samej wiedzy przez większą grupę osób. Istotnym zatem jest rozwijanie rozwiązań, w tym o charakterze technicznym, które umożliwiają podwyższanie efektywności procesów pamięciowych, będących jednym z kluczowych czynników przyczyniających się zwiększenia skuteczności procesów szkoleniowych.

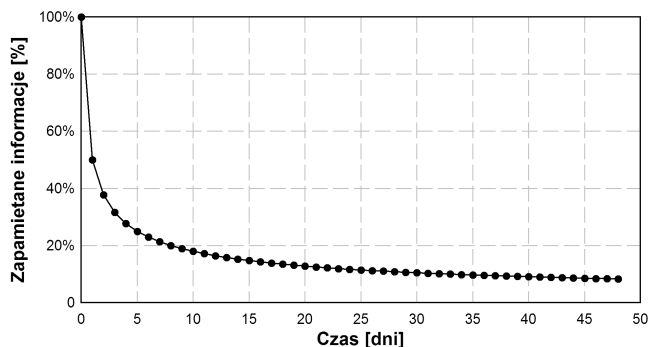
### 2. METODY ZAPAMIĘTYWANIA

W procesach uczenia się, ukierunkowanych w znacznym zakresie na zapamiętywanie informacji stosowanych jest wiele technik. Wykorzystanie ich wpływa na okres przechowywania informacji w pamięci długotrwałej, jak również na ilość informacji jaką można zgromadzić w pamięci. Techniki tego typu opierają się na różnych właściwościach ośrodkowego układu nerwowego związanych z percepcją. Za twórcę technik pamięciowych, uważa się Greka Simonidesa [5], który zauważył, że istnieją określone prawa z wykorzystaniem których można szybciej zapamiętywać prezentowane informacje. Do głównych rodzajów technik pamięciowych zalicza się skojarzenia (łączenie nowych informacji z informacjami, które już zostały zapamiętane), porządkowanie (organizowanie informacji według ustalonych reguł, np. podobieństwa znaczeniowego, formalnego, fonetycznego, itp.), wykorzystanie tzw. praw pamięci (wykorzystanie odmiennych właściwości półkul mózgowych), skróty językowe (łączenie fragmentów nazw w słowa lub zdania).

Jednym z przykładów tego typu technik jest grupowanie [6], które polega na dzieleniu informacji na kategorie. Ilość kategorii zależna jest od ilości informacji jakie mają podlegać zapamiętaniu oraz jej charakterystyce, determinującej możliwość przyporządkowania. Grupowanie zazwyczaj odbywa się w sposób spontaniczny w zależności od rodzaju materiału i jest uważane za znacząco efektywną formę zapamiętywania. Innym przykładem technik pamięciowych jest tworzenie akronimów [7] – skrótów odwzorowujących określone treści. Akronimy mogą być wykorzystywane do szybkiego zapamiętywania złożonych treści poprzez twórcze, samodzielne i kreatywne tworzenie (wymyślanie) słów lub wyrażeń, których pierwsze litery odwzorowują informacje do zapamiętania. Akronimy nie muszą posiadać sensu znaczeniowego, ale poprzez skrócenie pierwotnej informacji do zapamiętania, powodują, że struktury pamięci są znacznie mniej obciążone ilością informacji, w związku z czym możliwe jest zapamiętanie większej ilości informacji w krótszym czasie. Tworzenie akrostychów [8] to kolejna metoda pamięciowa polegająca na budowaniu zdań w których pierwsze litery są początkowymi literami elementów do zapamiętania. Utworzone zdania nie muszą być zgodne z kategoriami zapamiętywanych elementów, stanowią natomiast wskazówki ułatwiające odcodowanie określonych informacji z pamięci. Inną metodą są ogniwa pośredniczące, polega to na łączeniu niepowiązanych ze sobą pierwotnie elementów z wykorzystaniem wizualizacji. Wizualizacje przedstawiają określone porcje informacji, tworząc ciąg zdarzeń układających się w logiczną całość. Ta metoda przyspiesza zapamiętanie i zwiększa trwałość przechowywania informacji.

### 3. MODEL WSPOMAGANIA PROCESÓW PAMIĘCIOWYCH

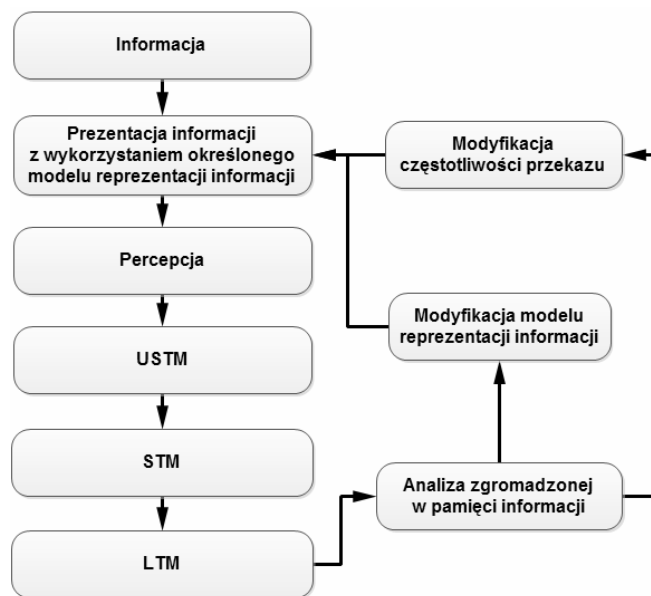
Głównym założeniem podjętych działań było opracowanie metody wspomaganie procesów pamięciowych związanych z uczeniem się odnoszącej się do maksymalizacji czasu przechowywania informacji w pamięci długotrwałej w takiej formie aby możliwe było jej późniejsze odtworzenie w jak najmniej zniekształconej postaci, a także identyfikacja najefektywniejszych form prezentacji informacji (tzw. modelu reprezentacji informacji) podczas procesu uczenia się ze względu na cechy personalne. Prekursorem badań nad procesami pamięciowymi był Hermann Ebbinghaus [9], którego działania doprowadziły do zdefiniowania funkcji zwanej krzywą zapominania. Przykład krzywej zapominania przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Przykładowa krzywa zapominania

Najnowsze badania wskazują, że funkcja potęgowa postaci  $i(t) = \tau(1 + \gamma t)^{-\beta}$  stanowi efektywne odwzorowanie krzywej zapominania [10], gdzie poszczególne zmienne niezależne funkcji to:  $\tau$  - poziom pamięci trwałej,  $\gamma$  - parametr skalujący,  $\beta$  - współczynnik zapominania.

Przyjęta ogólna koncepcja modelu zakłada, że informacje prezentowane odbiorcy w trakcie uczenia się są przez niego zapamiętywane w różnym stopniu, zależnym od cech personalnych i powinny być utrwalane w strukturach pamięci poprzez ich powtarzanie z określoną częstotliwością, a także przekazywane w najbardziej efektywnej postaci (rys. 2).



Rys. 2. Ogólna koncepcja wspomaganie procesów zapamiętywania informacji

Można wyróżnić trzy podstawowe rodzaje pamięci biologicznej ze względu na trwałość przechowywanych w nich informacji: pamięć sensoryczna (USTM - Ultra-Short Term Memory), pamięć krótkotrwała (STM - Short-Term Memory), pamięć długotrwała (LTM - Long-Term Memory). Założono, że materiał do zapamiętania (zakres informacyjny wiedzy) podzielony zostanie na jednostki informacyjne (najmniejsze porcje informacji do zapamiętania), które w trakcie procesu nauki będą podlegać zabiegom wspomagającym ich zapamiętanie przez osobę uczącą się. Zapis formalny modelu przedstawia równanie

$$F_M = X_M \rightarrow Y_M, \quad (1)$$

gdzie:  $X_M = \{X^K, X^S, X^P\}$  - przestrzeń wielkości wejściowych,  $X^K = \{x_1^K, x_2^K, \dots, x_b^K\}$  - zbiór jednostek informacyjnych, indeksy należące do zbioru liczb całkowitych wskazujące na określone treści (informacje do zapamiętania) zgromadzone w systemie informatycznym,  $X^S = \{x_1^S, x_2^S, \dots, x_d^S\}$  - zbiór modeli reprezentacji informacji, indeksy należące do zbioru liczb całkowitych wskazujące na określone algorytmy prezentacji informacji zgromadzonych w systemie informatycznym,  $X^P = \{x_1^P, x_2^P, \dots, x_e^P\}$  - zbiór dodatkowych parametrów procesowych (wartości o charakterze ciągłym oraz

dyskretnym),  $Y_M = \{I^S, Y^H, Y^W\}$  - przestrzeń wielkości wyjściowych,  $I^S$  - zidentyfikowany jako optymalny (dający charakterystyki krzywych zapominania jak najbardziej płaskie) model reprezentacji wiedzy,  $Y^H$  - zbiór charakterystyk zapominania dla poszczególnych jednostek informacyjnych,  $Y^W$  - rozkład interwałów czasowych powtórek dla poszczególnych jednostek informacyjnych.

Każda jednostka informacyjna prezentowana jest odbiorcy w procesie zapamiętywania z wykorzystaniem określonego modelu reprezentacji informacji

$$x^S \in X^S, \quad (2)$$

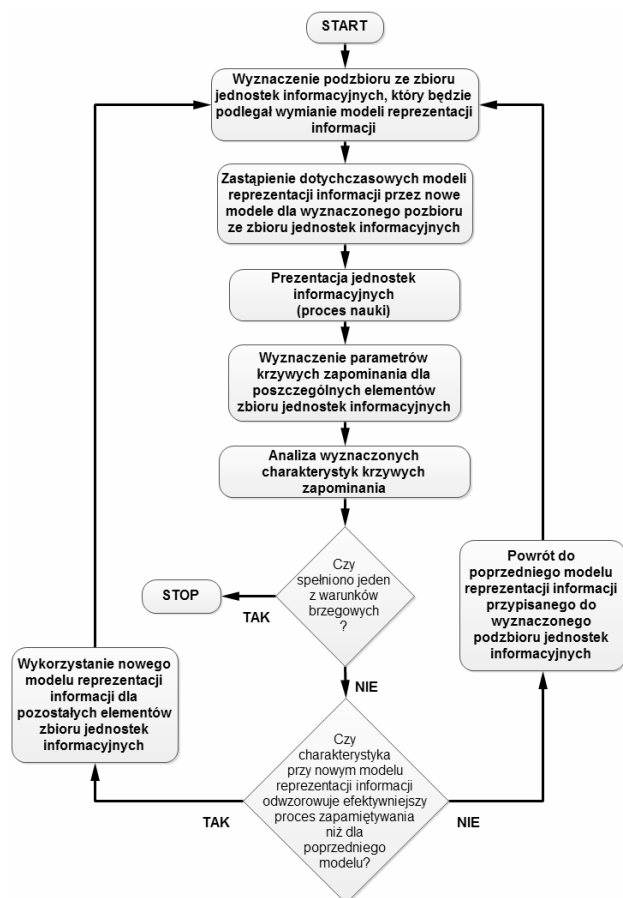
gdzie:  $X^S$  - zbiór modeli reprezentacji informacji.

Proces ten może być przedstawiony w postaci trójargumentowej funkcji

$$f_u(x^K, x^S, t), \quad (3)$$

gdzie:  $x^K$  - jednostka informacyjna,  $x^S$  - model reprezentacji informacji,  $t$  - czas jaki upłynął od pierwszej prezentacji jednostki informacyjnej.

Przeciwdziałanie funkcji stanowi stopień zapamiętania wybranej jednostki informacyjnej. Proces identyfikacji modelu reprezentacji informacji może być przedstawiony w postaci diagramu (rys. 3).



Rys. 3. Identyfikacja modelu reprezentacji informacji w opracowanej metodzie wspomagania procesów zapamiętywania

Proces wyboru modelu reprezentacji informacji, jest procesem realizowanym cyklicznie do momentu

przetestowania wszystkich zdefiniowanych dla danego zakresu informacyjnego form prezentacji informacji. Proces ten zaczyna się wyznaczeniem zbioru  $G$  będącego podzbiorem zbioru  $K$  obejmującego cały zakres informacyjny związany z wiedzą, która powinna zostać zapamiętana przez osobę uczącą się. Można to przedstawić zależnością

$$G \subset K, \quad (4)$$

gdzie:  $card(G) = card(K) \cdot z$ ,  $z$  - współczynnik wielkości zbioru wymiany modelu reprezentacji informacji, i  $0 \leq z \leq 1 \wedge z \in \mathfrak{R}$ .

W dalszej kolejności w wyznaczonym podzbiore  $G$  następuje wymiana modelu reprezentacji informacji  $x_i^S$  przypisanego do elementów zbioru na nowy model  $x_{i+1}^S$ . Proces ten można zapisać jako

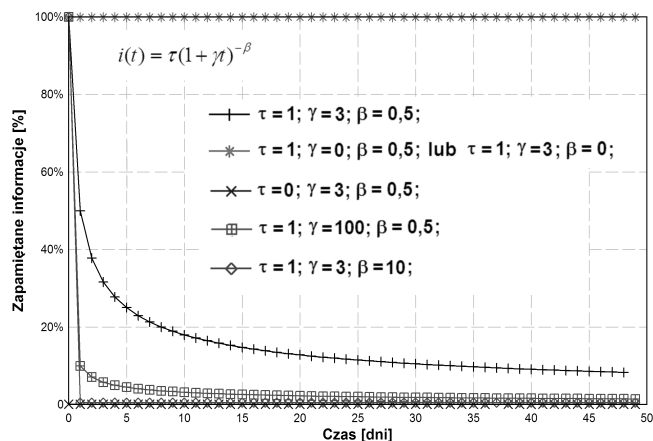
$$\forall g \in G \exists! x_i^S \in X^S : x_i^S = x_{i+1}^S, \quad (5)$$

gdzie:  $i$  - indeks model reprezentacji informacji.

Następnie kontynuowany jest proces prezentacji jednostek informacyjnych osobie uczącej się. Dla nowych jednostek realizowana jest procedura zapamiętywania ich, zaś dla jednostek informacyjnych prezentowanych w poprzednich iteracjach algorytmu prowadzona jest procedura sprawdzania stopnia ich zapamiętania. Na podstawie danych empirycznych dotyczących stopnia zapamiętania jednostek informacyjnych oraz algorytmu genetycznego [11] wyznaczana jest krzywa zapominania. Genetyczne modele obliczeniowe to grupa algorytmów matematyczno-komputerowych przeznaczonych do przeszukiwania przestrzeni alternatywnych rozwiązań w celu zidentyfikowania optymalnych dla określonego problemu zadaniowego. Sposób działania algorytmów genetycznych, będących jednym z podzbiorów modeli ewolucyjnych [12] zbliżony jest do zjawisk jakie zachodzą w procesach biologicznych opartych na zjawiskach doboru naturalnego oraz dziedziczności. Podstawą obliczeń jest zasada, że najlepiej przystosowane (zbliżone do optymalnych) jednostki niosące informacje (chromosomy) o sposobach rozwiązywania określonego problemu podlegają procesom powielania w celu zwielokrotnienia zawartych w nich informacji, oraz wzajemnego krzyżowania i mutacji w celu ich zróżnicowania. Analizowany problem odwzorowuje środowisko, w którym funkcjonuje określona grupa jednostek niosących informacje (tzw. populacja). Cechy charakterystyczne dla algorytmów genetycznych to: równoległe przeszukiwanie przestrzeni rozwiązań oraz stosowanie elementów o charakterze stochastycznym [13].

Genotypy poszczególnych osobników populacji zakodowano w chromosomach. Reprezentacja binarna genotypu to wektor  $c = (c_1, \dots, c_n)$ , który jest konkatenacją łańcuchów binarnych reprezentujących poszczególne zmienne funkcji zapominania, a także zmienne pomocnicze, usprawniające procesy związane z realizacją algorytmu genetycznego. Dla poszczególnych parametrów krzywej zapominania określono następujące przedziały dopuszczalnych wartości:  $\tau \in \langle 0; 1 \rangle$ ,  $\gamma \in \langle 0; 100 \rangle$ ,

$\beta \in \langle 0; 10 \rangle$ . Przykład krzywej zapominania z wartościami parametrów w dopuszczalnym zakresie oraz krzywe zapominania dla których parametry przyjęły wartości brzegowe przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Przykładowa krzywa zapominania z dopuszczalnymi wartościami parametrów oraz krzywe zapominania dla których parametry przyjęły wartości brzegowe

Po uwzględnieniu takich przedziałów (dobrane na drodze empirycznej) możliwe jest uzyskanie krzywych o kształtach odpowiadających rzeczywistości.

Poszczególne zmienne zostały zakodowane binarnie w genotypach chromosomów z przyjętą dokładnością 6 miejsc po przecinku. Do kodowania zmiennych wykorzystano następujące ilości bitów:

- $\tau$  - 20 bitów,
- $\gamma$  - 27 bitów,
- $\beta$  - 24 bity.

Kodowanie zrealizowano przy użyciu kodu Gray'a, dzięki czemu przejście pomiędzy dwoma sąsiednimi wartościami realizowane jest poprzez zmianę stanu pojedynczego bitu.

Na podstawie analizy literatury [14] oraz badań empirycznych dobrano parametry procesu ewolucji, które przedstawiono poniżej:

- liczebność populacji osobników z zakodowanym genotypem: 100,
- prawdopodobieństwo mutacji dla pojedynczego osobnika w epoce: 0,04,
- prawdopodobieństwo krzyżowania dla pojedynczego osobnika w epoce: 0,8,
- liczba epok (generacji osobników): 1000.

Funkcję przystosowania poszczególnych osobników do środowiska zdefiniowano jako sumę odległości pomiędzy wartościami stopnia zapamiętania jednostek informacyjnych wyznaczonymi dla poszczególnych testów przeprowadzonych w określonych punktach czasu a wartościami funkcji krzywej zapominania dla analogicznych punktów czasowych. Równanie funkcji przystosowania przedstawiono poniżej

$$F = \sum_{i=1}^n \sqrt{(\tau(1 + \gamma t_i)^{-\beta} - z_i)^2}, \quad (6)$$

gdzie:  $\tau$ ,  $\gamma$ ,  $\beta$  – parametry krzywej zapominania,  $i$  – numer kolejnego testu do wyznaczenia stopnia zapamiętania jednostki informacyjnej,  $n$  - liczba testów wyznaczających

stopień zapamiętania jednostki informacyjnej,  $t_i$  – czas po jakim prowadzony jest test stopnia zapamiętania jednostki informacyjnej,  $z_i$  – stopień zapamiętania jednostki informacyjnej.

Uzyskane charakterystyki porównywane są z charakterystykami uzyskanymi dla poprzednio przypisanego jednostkom informacyjnym modelu reprezentacji informacji. Jeśli nowe charakterystyki są bardziej spłaszczone, wówczas model reprezentacji informacji aplikowany jest do pozostałych jednostek zbioru informacyjnego. Algorytm powtarzany jest iteracyjnie aż do momentu spełnienia warunków brzegowych takich jak: maksymalna dopuszczalna liczba iteracji, maksymalny czas prowadzenia procesu wyboru modelu reprezentacji informacji, dokładność dopasowania krzywej zapominania do danych empirycznych.

#### 4. REZULTATY

Sprawdzenie poprawności przyjętych założeń modelowych dotyczących możliwości wspomagania procesów pamięciowych, a także efektywności opracowanego rozwiązania modelowego zrealizowane zostało poprzez badania weryfikacyjne. Przedstawione wyniki są fragmentem trwających obszerniejszych prac badawczych, mających długotrwały charakter, i należy je traktować jako pilotażowe.

Na pierwszym etapie prac weryfikacyjnych ustalono grupę badawczą złożoną z 6 osób, którą byli pracownicy pojedynczej firmy powiązanej z sektorem bankowym. Grupę taką wybrano ze względu na fakt, że pracownicy tej branży zobligowani są do regularnego uzupełniania swojej wiedzy dotyczącej nowych produktów oferowanych klientom. Wśród pracowników tej samej firmy wyłoniono grupę kontrolną złożoną również z 6 osób. Grupa ta nie była poddawana manipulacjom eksperymentalnym związanym z wykorzystaniem technik wspomagania procesów pamięciowych dzięki czemu stanowiła odniesienie dla grupy badawczej.

Zadaniem grupy badawczej jak również grupy kontrolnej było zapamiętanie 138 jednostek informacyjnych w czasie 5 dni. Jednostki informacyjne obejmowały dane o produktach finansowych. Stopień zapamiętania poszczególnych jednostek informacyjnych sprawdzano z wykorzystaniem przygotowanych testów.

Dla grupy badawczej jednostki informacyjne podawano z wykorzystaniem 4 modeli reprezentacji informacji:

- FO1 - standardowy tekst bez wyróżników barwnych,
- FO2 - tekst z wyróżnionymi barwnie istotnymi fragmentami,
- FD1 - tekst czytany przez lektora bez podkładu muzycznego,
- FD2 - tekst czytany przez lektora z podkładem muzycznym.

Grupa kontrolna otrzymała materiał do zapamiętania w postaci zbioru jednostek informacyjnych w formie standardowego drukowanego tekstu bez wyróżników barwnych. W tabeli 1 przedstawiono uzyskane rezultaty.

Tablica 1. Wyniki badań weryfikacyjnych metody wspomagania procesów pamięciowych

	Grupa badawcza	Grupa kontrolna
Średni całkowity czas spędzony podczas procesu aktywnego zapamiętywania jednostek informacyjnych	7 [h]	12 [h]
Średni stopień zapamiętania jednostek informacyjnych po 1 dniu od zakończenia procesu zapamiętywania	87%	83%
Średni stopień zapamiętania jednostek informacyjnych po 4 dniach od zakończenia procesu zapamiętywania	80%	71%
Średni stopień zapamiętania jednostek informacyjnych po 7 dniach od zakończenia procesu zapamiętywania	77%	63%

Innym wynikiem prowadzonych badań empirycznych były zidentyfikowane modele reprezentacji informacji dla osób wchodzących w skład grupy badawczej. Dla 5 osób najefektywniejszym modelem reprezentacji informacji okazał się model FO2 (tekst z wyróżnionymi barwnie istotnymi fragmentami), natomiast dla jednej najefektywniejszym modelem okazał się model FD1 (tekst czytany przez lektora bez podkładu muzycznego). Uzyskane dane wskazują na poprawnie przyjęte założenia modelowe, czego potwierdzeniem jest fakt, że grupa badawcza w której wykorzystywano opracowane rozwiązanie szybciej zapamiętała wyznaczony zbiór jednostek informacyjnych, a także degradacja zapamiętanych informacji dla osób będących w tej grupie ulegała znacznie powolniejszym procesom niż w przypadku grupy kontrolnej.

## 5. PODSUMOWANIE

Wyniki przeprowadzonych badań empirycznych, które należy jednak traktować jako wyniki wstępne, wskazują na poprawność przyjętych założeń modelowych. Stwierdzono, że wykorzystanie opracowanego rozwiązania skraca czas potrzebny do zapamiętywania informacji w procesach uczenia się, jak również wpływa na redukcję dynamiki degradacji zapamiętanych informacji w pamięci długotrwałej. W celu potwierdzenia badań pilotażowych realizowane są prace badawcze uwzględniające liczniejsze grupy badawcze, a także inne obszary tematyczne obejmujące inne zbiory jednostek informacyjnych. Opracowane rozwiązanie może znaleźć zastosowanie w przedsiębiorstwach jak również procesach kształcenia formalnego, nieformalnego i pozaformalnego, gdyż nie ogranicza możliwości przekazu informacyjnego do określonego obszaru wiedzy. Ze względu na fakt, że wykorzystanie metody dostarcza informacji pośrednich daje to możliwość ich dalszego wykorzystania. Przykładem może być zidentyfikowany model reprezentacji informacji, który może stanowić istotną wskazówkę dotyczącą sposobu przygotowywania materiałów edukacyjnych. Materiały takie mogą być zapamiętywane bez potrzeby korzystania z wyspecjalizowanego oprogramowania. Głównymi ograniczeniami metody są: potrzeba przygotowania materiałów dydaktycznych w różnych formach (modelach reprezentacji informacji), konieczność korzystania ze specjalizowanego oprogramowania, a także systematyczność

związana z potrzebą powtarzania jednostek informacyjnych w wyznaczonych interwałach czasowych. Model ma charakter rozwojowy co należy rozumieć jako dający możliwość rozbudowy co należy rozumieć jako dający możliwość rozbudowy co nowe funkcjonalności. Jednym z pomysłów jest rozbudowa procesu identyfikacji modelu reprezentacji informacji o wstępne badania określające preferencje osoby uczącej się przed przystąpieniem do procesu nauki. Innym interesującym pomysłem jest zastosowanie metod drążenia danych (ang. data mining) [15] umożliwiających odkrywanie asocjacji dotyczących cech poszczególnych jednostek informacyjnych i modeli reprezentacji informacji. Przykładowymi metodami z tej grupy są AIS, SETM, Priori, Elat, Levelwise, FreeSpan. Metody tego typu zazwyczaj wyposażone są w miary określające m.in. ufność, co mogłoby stanowić istotny wskaźnik poprawności doboru metody reprezentacji informacji.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- Zull J.: From Brain to Mind, Using Neuroscience to Guide Change in Education, Stylus Publishing, USA, 2011.
- Neumann J., Kurzweil R.: The Computer and the Brain, Yale University Press, USA 2012.
- Kaiser J.: Obecność mózgu w świadomości. Empiryczny status zjawisk świadomych w świetle psychofizjologii, Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków 2007.
- Antonova I., Fang-Min Lu, Zablow L., Udo H., Hawkins R. D.: Rapid and Long-Lasting Increase in Sites for Synapse Assembly during Late-Phase Potentiation in Rat Hippocampal Neurons, The Journal of Neuroscience, Nr 21(16), 2001.
- Mazzaro J.: Memory and Making From Simonides to Shakespeare, Xlibris Corporation, USA 2003.
- Sygnowski P.: Szybka nauka dla wytrwałych, Jak skutecznie rozwiązać swoje problemy z nauką, Internetowe Wydawnictwo Złote Myśli, Gliwice 2008.
- Szula B.: Pamięć doskonała, 22 proste lekcje dzięki którym zapomnisz o zapomnianiu, Wydawnictwo Załote Myśli, Gliwice 2011.
- Bąbel P., Wiśniak M.: Jak uczyć żeby nauczyć, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 2008.
- Hagendorf F.H.: Human Memory and Cognitive Capabilities, Mechanisms and Performances, Symposium In Memoriam Hermann Ebbinghaus, Humboldt-Univ, Germany 1995.
- Deffenbacher K. A., Bornstein B. H., McGorty, E. K., Penrod, S. D.: Forgetting the once-seen face: Estimating the strength of an eyewitness's memory representation. Journal of Experimental Psychology: nrl. 14(2), 2008, s. 139-150.
- Goldberg D. E.: Genetic Algorithms, Pearson Education, USA 2006.
- Coello C., Van Veldhuizen D. A., Lamont G. B.: Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems, Springer-Science, USA 2002.
- Bass R. F.: Stochastic Processes, Cambridge University Press, UK 2011.
- Eiben A. E., Hinterding R., Michalewicz Z.: Parameter Control In Evolutionary Algorithms, IEEE Transactions On Evolutionary Computation, 3(3), 1999, s. 121-141.

## PROCESS MODELLING OF MEMORY SUPPORTED BY GENETIC METHODS

The article presents the author's model of supporting memory processes associated with learning with the use of information technology. Biological memory is a property of nervous system by means of which it is possible to create experiences. It includes three basic processes: memorizing (coding), storing, and recalling (decoding information). The developed method for supporting memory processes refers to intentional actions, in contrast to spontaneous actions (involuntary - occurring without conscious decision). It was assumed that the ability to effectively memorize increases the chances of professional success, as well as makes it easier to find a job. Typically effective learning takes place through the development of individual methods of storing information by experimentation. The solution based on technologies related to digital data processing, described in the article, enables the identification of optimal methods of knowledge representation during the process of its coding for a single person, who is characterized by unique features, as well as distribution planning of information units for purpose of fixation them in memory. This process includes prediction of conditions for actions with certain time limits, determination of objectives and methods of their most effective implementation. The use of time parameters in developed solution makes it possible to determine the distribution of repetitions related to the presentation of information. The article presents the assumptions of the model, its main structures, which are also described in a formal way, used genetic methods, and examples of results. The results of the analysis of the state of knowledge, including methods of mapping forgetting curve and analysis of the main advantages and limitations of the developed solution were presented.

**Keywords:** memory processes, memory, genetic algorithm, forgetting curve, modeling, learning.