

Adresowa koncepcja uczenia się *

Celem opracowania jest opis prostego modelu stochastycznego, symulującego uczenie się materiału, stanowiącego serię nie powiązanych ze sobą informacji.

Modele proste, oparte na możliwie najmniejszej ilości założeń, uwzględniające jak najmniejszą ilość zmiennych, mogą okazać się wartościowe, jeśli spełniają warunki umożliwiające ich stosowanie. W szczególności modele te powinny być tak skonstruowane, by dało się je uogólniać bądź uszczegółowiać poprzez dokonywanie zabiegów formalnych, takich jak: pomijanie bądź uogólnianie niektórych założeń, pomijanie pewnych zmiennych lub włączanie nowych. Rzecz jasna, zarówno przyjmowane założenia, jak i uwzględniane zmienne nie mogą być dowolne, nawet wtedy, gdy służą lepszemu dopasowaniu modelu do danych empirycznych z konkretnego eksperymentu. Teoretyczne podstawy modelu muszą nawiązywać do aktualnej wiedzy psychologicznej formułowanej w twierdzeniach bądź hipotezach popartych badaniami. Maniera przesadnego operowania konstruktami teoretycznymi pochodzącymi np. z cybernetyki i teorii informacji, panująca w latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych, doprowadziła do powstania wielu koncep-

* Praca wykonana w ramach RPBP III/25.

cji, wprawdzie poprawnych formalnie, lecz mało wzbogacających wiedzę o funkcjonowaniu psychologicznym człowieka. Jako przykład mogą tu służyć znane prace M. Kempisty¹, M. Mazura² i innych. Konsekwencją tego podejścia było porównywanie funkcjonowania psychiki, głównie poznawczego, z procesami zachodzącymi w komputerach, co doprowadziło do odkrycia wielu analogii w zachowaniu się wymienionych układów, stwarzających złudzenie istnienia wspólnych praw opisujących zachowanie się człowieka i maszyny. Złudzeniu temu ulegli także neurofizjolodzy budujący modele funkcjonowania sieci neuronowych, perceptronów itp. Takiemu pojmowaniu zjawisk neurofizjologicznych i psychologicznych przeciwstawił się między innymi Young³, sam niegdyś propagujący omawiane podejście. Jego zdaniem, istnieją zasadnicze różnice między pracą maszyn matematycznych a funkcjonowaniem nawet stosunkowo prymitywnych układów nerwowych, nie mówiąc już o mózgu człowieka.

Współczesna psychologia kognitywna również posługuje się pojęciami zaczerpniętymi z teorii informacji, nie stroniąc nawet od stosowania niektórych zdobyczy owej teorii. Badacze związani z tym kierunkiem zrezygnowali jednak na ogół z posługiwania się analogią człowiek - maszyna w uzasadnianiu twierdzeń i teorii psychologicznych na rzecz specyficznych dla psychologii metod badawczych.

STOCHASTYCZNY CHARAKTER UCZENIA SIĘ SERII

Proces uczenia się można traktować jako zjawisko odbioru, kodowania i przetwarzania informacji, albowiem natura stymulacji sensorycznej polega między innymi na tym, że do czło-

¹ Kempisty M., Psychoinformacja i psychograf, w: Problemy psychologii matematycznej, red. J. Koziński, Warszawa 1971.

² Mazur M., Cybernetyczna teoria układów samodzielnych, Warszawa 1966.

³ Young J.Z., Programy mózgu, Warszawa 1984.

wieka dochodzą wiadomości, które funkcjonują w nim przez jakiś czas, już po ustaniu wspomnianej stymulacji. Wiadomości te są kodowane w pamięci krótkoterminowej, a następnie, po upływie określonego czasu, w pamięci długoterminowej⁴, czyli w odpowiednich miejscach układu nerwowego. Nie wnikając w naturę neurofizjologiczną zapisu pamięciowego można przyjąć, że istnieje stała lub zmienna lokalizacja miejsc kodowania, gdzie zapamiętana informacja tworzy ślad pamięciowy. Do rozważenia pozostają różne możliwe koncepcje śladów pamięciowych.

Zdaniem Konorskiego⁵, ślady pochodzące z uczenia się percepcyjnego tworzą się w specjalnych adresach, odpowiadających danym informacjom. Takimi adresami mogą być na przykład pojedyncze neurony. Nie wydaje się jednak, aby tak było w istocie. Układy fizjologiczne funkcjonują w oparciu o zasadę nadmiarowości, zatem jeśli rzeczywiście istnieją stałe adresy, to raczej jako zbiory neuronów lub wręcz systemy wzajemnie powiązanych komórek nerwowych. Tłumaczyłoby to znane zjawisko przeuczenia, które w świetle tej koncepcji sprowadzałoby się do wielokrotnego zapisu danej informacji w tym samym adresie w trakcie powtarzania materiału.

Spróbujmy rozwinąć hipotezę Konorskiego i opisać przebieg uczenia się serii w oparciu o koncepcję adresów. Przypuśćmy, że seria bodźców do wyuczenia stanowi nie powiązane ze sobą elementy w ilości n . Badacz dokonuje kolejnych ekspozycji poszczególnych elementów w dobieranej losowo sekwencji, tak aby wyeksponować w każdej próbie całą serię. W doświadczeniu wykonuje się pewną ilość prób polegających na przejściu całej serii. Sprawdzenie wyuczenia się danego elementu odbywa się poprzez reakcje kontrolne, z których każda jest przypisana jednemu i tylko jednemu elementowi oraz każ-

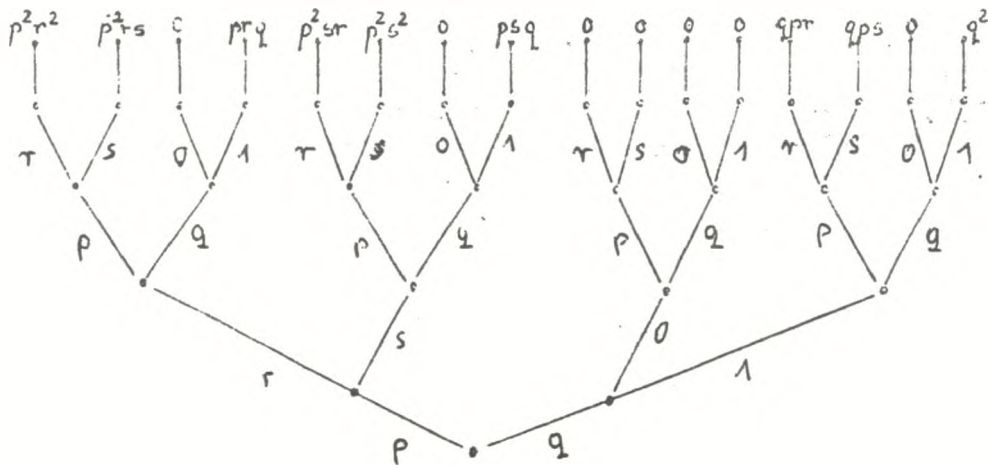
⁴ Peterson L.R., Short-term memory and learning, Psychological Review 1966, v.73.

⁵ Konorski J., Integracyjna działalność mózgu, Warszawa 1969.

da z nich różni się od pozostałych. Po każdej ekspozycji i reakcji kontrolnej badany otrzymuje informację zwrotną o sukcesie bądź porażce. W wypadku porażki powtarza reakcję do momentu sukcesu. Badany ma po ekspozycji elementu (bodźca) jedynie wybrać reakcję ze zbioru z góry podanych. Taką reakcją może być na przykład werbalizacja bodźca właściwego ze zbioru podanych bodźców możliwych.

W trakcie pierwszej próby nie wszystkie elementy zostają zapamiętane, o ile oczywiście długość serii jest większa niż zakres pamięci bezpośredniej. Albo więc nie wszystkie adresy w danej próbie są otwarte, czyli gotowe do zapisu pamięciowego, albo prawdopodobieństwo zapisu w danym adresie jest mniejsze niż jeden z racji zbyt krótkiego czasu jego gotowości, bądź szybkiego zatarcia zapisu, albo zjawiska te zachodzą łącznie. Niech zatem p oznacza prawdopodobieństwo otwarcia adresu w momencie ekspozycji odpowiedniego bodźca, a $q = 1 - p$ niech będzie prawdopodobieństwem zdarzenia przeciwnego. Z kolei niechaj r prawdopodobieństwo dokonania zapisu w adresie pod warunkiem, że jest otwarty, zostanie oznaczone symbolem r , a prawdopodobieństwo zdarzenia przeciwnego symbolem $s = 1 - r$. Oczywiście prawdopodobieństwo zapisu informacji w adresie, jak i braku tegoż, pod warunkiem, że adres ten jest zamknięty, wynosi w obu wypadkach 0.

Przedstawmy przebieg dwóch prób w postaci poniższego drzewa.



Dla dwóch prób i jednego adresu istnieje rozkład szesnastu rezultatów doświadczenia o prawdopodobieństwach będących iloczynami wartości przypisanych kolejnym łukom każdej gałęzi drzewa. Sześć zdarzeń realizuje zapis pamięciowy, pozostałych dziesięć - brak zapisu. Prawdopodobieństwo wyuczenia się elementu w dwóch próbach, oznaczone przez f_2 , wynosi zatem:

$$1) f_2 = 1 - (p^2s^2 + 2qps + q^2) = 1 - (ps + q)^2,$$

jako że wyrażenie w nawiasie oznacza prawdopodobieństwo braku zapisu w adresie. Bez trudu można wykazać poprzez indukcję zupełną, że dla f -tej próby oraz stałych p, s w każdej z prób powyższa formuła przybiera postać:

$$2) f_1 = 1 - (ps + q)^1.$$

Jeśli prawdopodobieństwo zapisu pamięciowego w adresie równa się jeden, gdy jest on otwarty, to wtedy s jest równe zero, co pozwala wyrazić przebieg uczenia się następująco⁶:

$$3) f_1 = 1 - q^1 = 1 - (1 - p)^1.$$

Łatwo zauważyć, że uzyskany wynik jest możliwy do przeniesienia na efekt uczenia się całej serii bodźców, pod warunkiem, że dla każdego elementu tej serii zachodzi jego zapis z identycznym prawdopodobieństwem, bądź wszystkie elementy tworzą zbiorowość o stałym oraz identycznym przeciętnym prawdopodobieństwie zapisu w każdej próbie, przy czym p jest cały czas stałe. Jest tak jedynie wtedy, gdy otwieranie się adresów jest skanningiem o przebiegu czysto losowym⁷. Ujawnienie się procesów ukierunkowanych zmienia zasadniczo przebieg uczenia się. Procesy te mogą polegać na powstawaniu związków między elementami serii⁸ oraz tworzeniu się organizacji informacji w różnego rodzaju struktury⁹. Efektem tych

⁶ Wrona L., Uczenie się serii jako proces stochastyczny, w: Roczn. Nauk.-Dydakt. WSP, Prace Psychologiczne II, Kraków 1987.

⁷ Nosal Cz.S., Mechanizmy funkcjonowania intelektu: zdolności, style poznawcze, przetwarzanie informacji, Wrocław 1979.

⁸ Wrona L., Wpływ skojarzeń wewnątrzserijnych na uczenie się serii, w: Rocznik Komisji Nauk Pedagogicznych PAN, Ossolineum 1987 (w druku).

⁹ Rabbit P., Vyas S., Memory and data - driven control of selective attention in continuous task, Canadian Journal of Psychology 1979 nr 2.

procesów jest nagła istotna zmiana tempa uczenia się, w pewnej próbie, wskazująca na zmniejszenie się ilości informacji do zapamiętania o wartość większą niż przewidziana sformułowanymi wzorami¹⁰.

PROBLEM OPÓŹNIANIA TEMPА UCZENIA SIĘ

Zgodność realnego tempa uczenia się z modelem daje się zaobserwować jedynie wtedy, gdy długość serii niewiele przekracza zakres pamięci bezpośredniej. Uczenie się serii dłuższych jest znacznie wolniejsze niż przewiduje model, stąd też wyniki eksperymentów dają się łatwiej opisywać teoriami próbek bodźców, choćby na przykład formułę Estes¹¹. Teorie te budowane są jednak na założeniach asocjacionistycznych, których spełnienie, w wypadku uczenia się percepcyjnego, jest nad wyraz wątpliwe. Uwzględnienie zapomnienia w trakcie uczenia się zwiększa predyktywność teorii, zatem wielu badaczy już w latach pięćdziesiątych i sześćdziesiątych czyniło stosowne próby¹². Obiecujące wyniki uzyskiwano przez opis przebiegu uczenia się łańcuchami Markowa, przy czym wtedy, gdy łańcuchy owe posiadają własność ergodyczną, nie nadają się do przedstawienia końcowych etapów uczenia się. Poziom stabilizacji wprawy wyznaczony przez prawdopodobieństwo ergodyczne jest niższy niż poziom stwierdzony eksperymentalnie. Błąd w rozumowaniu polega tu na przyjęciu założenia, że prawdopodobieństwo zapomnienia wyuczonego elementu jest w każdej próbie identyczne. Tymczasem fakt osiągnięcia wprawu zupełnej wskazuje na to, że zapomnianie w kolejnych próbach jest coraz mniej prawdopodobne.

¹⁰ Lindsay P.H., Norman D.A., Procesy przetwarzania informacji u człowieka, Warszawa 1984.

¹¹ Coombs C.H., Daves R.M., Tversky A., Wprowadzenie do psychologii matematycznej, Warszawa 1977.

¹² Atkinson R.C., Bower C.H., Crothers E.J., An introduction to mathematical learning theory, New York - London - Sydney 1965.

Postać proponowanego modelu umożliwia uwzględnienie zapomnienia na drodze czysto rachunkowej.

Jeśli $1-f_{ie}$ oznacza efekt uzyskany w badaniach, a $1-f_{it}$ wynik przewidziany teoretycznie, to:

$$4) (1-f_{it}) - (1-f_{ie}) = c_i;$$

$$5) (1-f_{it}) = (1-f_{ie}) + c_i$$

gdzie c_i jest funkcją numeru próby z oczywistej równości

$$6) (ps + q)^i + c_i = (ps + q)^{i1}$$

obliczamy l dla i -tej próby;

$$7) l = \frac{\lg/(ps + q)^i + c_i}{\lg(ps + q)^i}$$

Jeśli l jest stałe dla każdego i , co zdarza się nader często, to krzywa uczenia się wyraża się wzorem.

$$8) f_i = 1 - (ps + q)^{il}$$

Jeśli natomiast warunek ten nie jest spełniony, to poszukujemy funkcji g przypisującej l numerowi próby i otrzymujemy ostateczną postać wzoru;

$$9) f_i = 1 - (ps + q)^{ig(i)}$$

Zwykle wartość l bądź $g(i)$ są większe od zera a mniejsze od 1. Teoretycznie może się jednak zdarzyć, że na skutek organizacji materiału będą one większe od jedności, co spowoduje dodatnio przyspieszony przyrost wprawy. Łatwo pokazać również, że krzywa uczenia się może wykonać gwałtowny skok, jeśli funkcja $g(i)$ wykona skok dla pewnego i .

Jeśli funkcja ta jest malejąca tak, że

$$i g(i) < (i-1) g(i-1)$$

to wtedy krzywa uczenia dana formułą g może służyć do opisu procesu zapomnienia, wygaszania bądź oduczania.

Faktycznie w trakcie uczenia się zmiany mogą ulegać parametry p , s bądź q . Parametr l bądź funkcja $g(i)$ ocenia jedynie wypadkową tych zmian. Przejście od parametrów l lub $g(i)$ do wyrażenia zawierającego pozostałe parametry jako funkcje numeru próby jest kłopotliwe, lecz komputerowa technika obliczeniowa umożliwia wykonanie rachunków bez koniecz-

ności posługiwania się mało czytelnymi analitycznymi postaciami przekształconych wzorów. Ilustracją zgodności teorii z danymi empirycznymi są wyniki badań nad uczeniem się labiryntu Pelersona¹³ przeprowadzone na 29 osobach.

Tabela 1

Zgodność przebiegu uczenia się z modelem

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	g (i)
$1-f_{ie}$	.29	.224	.114	.11	.48	.028	.01	.01	.000	-
$1-f_{it}$	.29	.084	.024	.007	.003	.0 ³ 5	.0 ³ 2	.0 ⁴ 5	.0 ⁴ 1	1
$1-f_{it}$	.29	.283	.15	.08	.043	.023	.012	.006	.003	.51
$1-f_{it}$	.29	.255	.149	.089	.052	.028	.013	.005	.003	$W_2(i)$

Jeśli parametr $g(i)$ wynosi w każdej próbie 1, to przewidywane efekty uczenia się są wyraźnie niezgodne z danymi empirycznymi. Dla $g(i)$ stałego i równego 0.51 dopasowanie modelu do danych można uznać za zadowalające, przy czym nie należy podstawiać do wzoru 8 wyniku pierwszej próby, gdyż właśnie w oparciu o ten wynik został oszacowany parametr $g(i)$. Podobnie dobrą zgodność udało się uzyskać wyrażając $g(i)$ wielomianem drugiego stopnia:

$$g(t) = W_2(i) = 0,0071 i^2 - 0,06 i + 0,605.$$

Można wtedy zaobserwować krzywoliniowy trend tego parametru, będącego funkcją numeru próby. Przypisać go można zmianom tendencji do zapominania w trakcie uczenia się.

Pojawiające się niekiedy zahamowania tempa uczenia się pochodzą z odchyień od zachodzącego losowo procesu stochastycznego. W trakcie uczenia się serii bodźców może zmieniać się ilość informacji do zakodowania, nie tylko na skutek

¹³ Woodworth R.S., Schlosberg H.S., Psychologia eksperymentalna, Warszawa 1963.

wzrostu poziomu wyuczenia się. Zmiany takie zachodzą również jako wynik łączenia się lub rozłączania nabywanych informacji. Zagadnienie to nieco obszerniej omówiłem w pracy pt. "Wpływ skojarzeń wewnątrzserijnych na uczenie się serii". Stosunkowo łatwo rozstrzygalny jest problem sprawdzenia, czy odchylenie od modelu ma charakter losowy. Gdyby tak było, to w dłuższych seriach prób wartość przeciętna odchyień zmierzałaby do zera. Statystycznie istotna niezgodność z powyższym warunkiem przemawiałaby za wystąpieniem procesów kierunkowych, wpływających na niezgodną z modelem zmianę ilości informacji do zapamiętania. Podstawowym jednak argumentem jest tu fakt polegający na braku kompensacji przebiegu uczenia się w następnych próbach. Krzywa uczenia się biegnie po wystąpieniu nieregularności tak, jakby od niej rozpoczynała dalszy przebieg ze zmienionymi parametrami. Faktycznie zmianom ulegają wówczas nie parametry krzywej, lecz ilość informacji zawarta w sytuacji bodźcowej. Sposób oszacowania tej zmiany, jak i uwagi o badaniu jej istotności zawarłem w wyżej cytowanej pracy.¹⁴

Stosowalność opisanego modelu zależy od tego, czy istnieją podstawy do uznania, iż badany proces uczenia się ma rzeczywiście charakter stochastyczny. Nielosowe skoki krzywej uczenia się, występujące u indywidualnych badanych, istnienie próby, w której większość badanych reaguje nieregularnością w przyroście efektu uczenia się, przemawia przeciw praktycznemu stosowaniu modelu.

¹⁴ Brak odchyień danych empirycznych od modelu nie dowodzi jego zgodności z rzeczywistym stanem rzeczy. Bez trudu można znaleźć funkcje o wiele lepiej dopasowane do przedstawionych danych, lecz ich związek z wynikami badań na tym się kończy. Argumentem za przyjęciem modelu, jako podstawy do dalszych dociekań może być jedynie empiryczne sprawdzenie jego konsekwencji.

Leszek Wrona
Andrzej Beauvale

THE ADDRESS CONCEPT OF LEARNING

S u m m a r y

The course of the learning curve can be deduced from simple assumptions of the memory processes. Based in theory of probability the known principles of memorizing and forgetting can be taken into account.

Андрей Боваль
Лешек Врона

АДРЕСНАЯ КОНЦЕПЦИЯ НАУЧЕНИЯ

Р е з ю м е

Характер кривой научения можно вывести дедуктивно на основе простых предположений о процессах памяти. Пользуясь теорией вероятности можно учитывать известные законы запоминания и забывания.