

# Robert Piłat

---

## Dynamiczny model umysłu

---

Studia Philosophiae Christianae 48/3, 137-164

---

2012

Artykuł został opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej [bazhum.muzhp.pl](http://bazhum.muzhp.pl), gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

ROBERT PIŁAT  
*Instytut Filozofii UKSW, Warszawa*

## DYNAMICZNY MODEL UMYŚLU

**Słowa kluczowe:** model dynamiczny, symulacja, przeszukiwanie wzrokowe, ruch sakadyczny, reprezentacja

1. Inspiracje modeli dynamicznych. 2. Krytyka pojęcia reprezentacji. 3. Narzędzia modelowania pracy umysłu. 4. Dynamika czasowa w spostrzeganiu wzrokowym. 5. Krytyczna dyskusja dynamicznego modelu przeszukiwania wzrokowego. 5.1. Symulacja *off-line*. 5.2. Rola pamięci. 5.3. Nierównomierny rozkład uwagi w przeszukiwaniu wzrokowymi. 6. Konkluzja.

Filozofia czerpiąca inspirację z empirycznych badań czynności poznawczych (kognitywistyka) przeszła w minionych dekadach przez kilka paradygmatów, w ramach których jakieś dominujące pojęcie lub metafora organizowały myślenie i wyobrażenia o pracy umysłu. Umysł miał być redukowalny do odruchów, miał być podobny do komputera, miał posiadać budowę modułową, lub przeciwnie, rozproszoną i holistyczną, miał mieć własności generatywne – jak gramatyka – lub działać przede wszystkim na poziomie pojęciowym; umysł miał być wreszcie układem cybernetycznym, samo-organizującym się systemem, wreszcie maszyną probabilistyczną. Te koncepcje i metafory nie są rozłączne, lecz tworzą różne kombinacje, składające się na konkurujące ogólne koncepcje umysłu. W tym artykule przedyskutuję zalety i wady dynamicznego i probabilistycznego podejścia do procesów umysłowych na przykładzie stosunkowo niedawnej propozycji Michaela Spivey'a<sup>1</sup>. Stany umysłowe rozumie on jako swego rodzaju stany wirtualne, a mianowicie prawdopodobieństwa wywołania przez

---

<sup>1</sup> M. Spivey, *The Continuity of Mind*, Oxford University Press, New York 2008.

dany stan fizyczny mózgu określonego zachowania. Zachowanie trzeba tu rozumieć szeroko – obejmuje ono bezwiedne stany narządów zmysłów, działanie regulacji postawy ciała, ale także świadome ruchy i decyzje. Zgodnie z modelem dynamicznym przebieg procesów przyczynowych w ludzkim mózgu nie daje nigdy całkowitej pewności, że dojdzie to tego czy innego działania – niemniej po przekroczeniu jakiegoś progu aktywacji danego ośrodka dochodzi raczej do jednego niż drugiego z wchodzących w grę zachowań.

Prawdopodobieństwo występuje w kognitywistyce na dwóch przeciwnych biegunach. Z jednej strony jest przedmiotem badania; poczynszy od klasycznych już badań Amosa Tversky'ego i Daniela Kahnemana psychologowie poznawczy zastanawiają się nad profilem i granicami ludzkich kompetencji w ocenianiu prawdopodobieństwa zdarzeń i stopnia ryzyka związanego z działaniami. Wiele wyników wskazuje, że w tej dziedzinie jesteśmy dość nieporadni, zastępując zależności probabilistyczne (tak jak je opisuje rachunek prawdopodobieństwa) heurystykami, które nie obejmują żadnych miar niepewności ani działań na tych miarach, lecz odwołują się do jakościowych relacji pomiędzy przedmiotami i zdarzeniami. Z drugiej strony, prawdopodobieństwo jest szczególnie w modelach dynamicznych – pojęciem wyjaśniającym; po to, by zrozumieć czyjeś działanie, musimy znać prawdopodobieństwa różnych działań możliwych w danej sytuacji. Prawdopodobieństwo w pierwszym sensie – jako przedmiot badania – jest własnością świata, w drugim sensie – jako to, co wyjaśnia – jest własnością wewnętrznych stanów organizmu. W obecnym stanie badań można tu odnotować pewne analogie pomiędzy pierwszym i drugim sensem, lecz żadnych silnych zależności. Nie jest wykluczone, że właśnie z powodu probabilistycznego działania naszych umysłów nie jesteśmy w stanie zakodować informacji o otoczeniu w dostatecznie precyzyjny sposób, by móc przeprowadzać zgodną z rachunkiem ocenę prawdopodobieństwa. Oczywiście jesteśmy zdolni do skompensowania tego poznawczego deficytu za pomocą symbolicznego kodowania informacji, nie jest to jednak naturalną skłonnością – wymaga nauczania się odpowiednich technik. Obecne rozważania nie dadzą

jeszcze ani potwierdzenia, ani zanegowania tej sugestii, pozwolą tylko zgromadzić pożyteczny materiał do jej dalszego rozważania. Będzie to przyczynek do filozoficznej koncepcji umysłu, której nieodzownym składnikiem jest pojęcie możliwych stanów rzeczy. Próbowałem już takiej strategii w stosunku do pojęć<sup>2</sup>, modele dynamiczne pozwalają myśleć o jej rozszerzeniu na percepcje i inne niepojęciowe stany umysłowe. Natomiast zagadnieniem filozoficznym, które wprost wynika z przedstawionych w tym artykule badań, jest status poznawczy reprezentacji umysłowych. Wydaje się, że we współczesnej kognitywistyce – w odróżnieniu od tendencji ostatnich dekad – rola reprezentacji jest systematycznie ograniczana. Dynamiczne modele umysłu są pod tym względem propozycją radykalną, eliminującą reprezentacje całkowicie. Analizując wybrany problem kognitywistyczny – jak wyjaśnić mechanizm automatycznego przeszukiwania pola wzrokowego – wskazuję powody, by nie przyjmować aż tak radykalnego stanowiska. W modelach dynamicznych reprezentacje umysłowe rzeczy, procesów i własności są *implicite* obecne.

## 1. INSPIRACJE MODELI DYNAMICZNYCH

Szereg intrygujących obserwacji i wyników eksperymentalnych pozwala sądzić, że czynności poznawcze, percepcyjne oraz kontrola zachowania polegają na generowaniu niestabilnych stanów równowagi pomiędzy przeciwstawnymi czynnikami determinującymi. W 1970 r. David Sparks wykazał na przykład, że za ruchy oka odpowiada jednocześnie pobudzony zespół komórek nerwowych, z których każda odpowiada za odmienny ruch gałek ocznych. Innym przykładem jest fakt, że stopień aktywności neuronów w korze wzrokowej zależy w dużej mierze od tego, jak wiele innych otaczających komórek jest aktywnych – aktywność jest mniejsza, kiedy aktywność otaczających komórek jest większa. Jest tu stała dynamiczna zależność, którą najlepiej opisywać w kategoriach konkurencji pomiędzy węzłami w sieci neuronów. Jeszcze innym przykładem jest mechanizm kontroli rów-

---

<sup>2</sup> R. Piłat, *O istocie pojęć*, Wydawnictwo IFiS PAN, Warszawa 2007.

nowagi w postawie stojącej. Nie ma tu żadnej reprezentacji punktu równowagi; ciało odchyła się w jedynym kierunku, mijając wirtualny punkt równowagi, lecz nie odnotowuje go (nie reprezentuje) w żaden sposób. Istotny jest jedynie stopień wychylenia, który uruchamia mechanizm kompensujący w postaci ruchu w przeciwnym kierunku.

W opublikowanej przed pięcioma laty monografii *The Continuity of Mind* Michael Spivey stara się uogólnić tego rodzaju spostrzeżenia i zaproponować model umysłu, w którym pomija się całkowicie pojęcie reprezentacji, a czynności poznawcze interpretuje się jako wynik działania procesów ciągłych. Z pozoru skokowe czynności systemu poznawczego, wyrażające się w formowaniu jednego z wchodzących w grę zachowań, w istocie wymagają pewnego czasu. Jest on na tyle krótki, że umyka standardowej metodzie psychologii poznawczej, czyli badaniu czasu reakcji osób wykonujących specjalnie zaprojektowane działania. Zdaniem Spivey'a formułowane w kognitywistyce koncepcje ogólne są za bardzo uzależnione od pomiarów czasu reakcji. Parametr ten zawiera wprawdzie użyteczne informacje, lecz rzadko przyjmuje rozkłady gaussowskie dla badanych populacji, co nie pozwala na wyrażenie informacji zawartej w danych o czasach reakcji za pomocą odpowiednich funkcji, a tym samym na wykorzystanie analizy tych funkcji do poznawania własności badanych procesów. To, co z punktu widzenia pomiaru czasu reakcji jest prawie natychmiastowe – nierozkładalne na czasowe fazy – na przykład przeskok percepcyjny przy wpatrywaniu się w kostkę Neckera, w istocie zajmuje pewien czas, który dziś (za pomocą nowych technik monitorowania pracy mózgu) da się mierzyć i obserwować. Ponadto mierzenie czasu reakcji opiera się również na założeniu, że jednakowy czas wykonania zadania świadczy o zaangażowaniu przynajmniej podobnych zasobów poznawczych. Tymczasem w obrębie danego przedziału czasowego mogą zachodzić bardzo różne procesy prowadzące do uruchomienia danej czynności.

Powstawanie nowej czynności Spivey wyraża w języku neurofizjologii, mówiąc o nowym potencjale czynnościowym. Za najlepsze przybliżenie powstawania potencjału czynnościowego uważa odwzo-

rowanie logistyczne, które pokazuje, jak w trakcie budowania się nowego potencjału zmienia się prawdopodobieństwo osiągnięcia przez populację neuronów stanu pozwalającego na pewną czynność – w podanym przykładzie (kostka Neckera) jest to nowa struktura perceptu: sześcian<sup>3</sup>. Odwzorowanie logistyczne jest funkcją, sformułowaną pierwotnie w zupełnie innym celu, mianowicie do modelowania dynamiki populacji w warunkach ograniczającej presji środowiska. Funkcja ta wyraża dynamiczną zależność pomiędzy dwoma konkurencyjnymi czynnikami: szybkością rozmnażania i zasobami środowiska pozwalającymi na przeżycie tylko określonej liczby osobników. Zwiększenie jednego z tych parametrów zwiększa ograniczające działanie tego drugiego, który z kolei rosnąc powoduje zwiększanie działania ograniczającego ze strony pierwszego.

Zdaniem Spivey'a podobną technikę można zastosować do modelowania czynności umysłu ludzkiego w sytuacji, kiedy potrzebne jest uwzględnienie dwóch lub więcej dynamicznie związanych (wzajemnie się ograniczających) determinacji. Różnica polega na tym, że w modelu populacji funkcja pokazuje wielkość fizyczną bezpośrednio mierzalną (liczbę osobników), podczas gdy narastanie potencjału czynnościowego trzeba raczej przedstawić jako krzywą prawdopodobieństwa wykonania danego działania w stosunku do wykonania konkurencyjnego działania, „walczącego” o dostęp do tych samych zasobów.

## 2. KRYTYKA POJĘCIA REPREZENTACJI

Z punktu widzenia modeli dynamicznych „wąskie gardło” pomiędzy oddziaływaniem otoczenia a czynnościami organizmu leży nie pomiędzy reprezentacją a otoczeniem, lecz pomiędzy planowaniem działania i jego wykonaniem. W tradycyjnym podejściu reprezentacjonistycznym poszukuje się stanów umysłowych, które byłyby warunkami koniecznymi i dostatecznymi wykonania określonych czynności. W modelu dynamicznym nie ma takich warunków. Nie jest tak, że podmiot najpierw buduje reprezentację otoczenia, a potem buduje

---

<sup>3</sup> M. Spivey, dz. cyt., 19-21.

scenariusz działania oparty na tej reprezentacji. Jest raczej tak, że stany umysłowe wyznaczają w każdej chwili niezerowe prawdopodobieństwa wielu działań i korelatywnie wielu alternatywnych reprezentacji<sup>4</sup>. Paradigmat dynamiczny ma prowadzić do stopniowego pozbywania się pojęcia reprezentacji umysłowej. Pojęcie to odegrało wprawdzie zasadniczą rolę w rozwoju kognitywistyki, eliminując uproszczenia behawioryzmu i otwierając drogę do badania autonomicznych procesów umysłowych<sup>5</sup>, lecz opiera się na nierealistycznym opisie pracy umysłu. W szczególności nie pokazuje procesu formowania się reprezentacji oraz relacji pomiędzy reprezentacjami. Przyczyną tych uproszczeń jest chęć opisanego relacji wiążących obiekty umysłowe z przedmiotami w świecie i ich własnościami. Jednak relacja ta nie musi wcale zachodzić. Istotny jest związek pomiędzy stanami otoczenia i działaniami podmiotu, natomiast postulat, że związek ten wymaga najpierw związku pomiędzy stanami otoczenia i reprezentacjami jest założeniem teoretycznym, którego przydatność zmniejsza się w miarę jak uzyskujemy empiryczny wgląd w mikroprocesy, składające się na formowanie się zachowania.

Dynamiczne własności umysłu i kontroli zachowania wykrywane są zatem przez odwzorowanie jego pracy na przestrzeń prawdopodobieństw. Dynamiczne modele pracy umysłu mają na celu wyjaśnienie procesu powstawania i przebiegu w czasie stanów umysłu pozwalających na wykonywanie określonych czynności, przy czym termin „czynność” obejmuje również percepcje czy podejmowanie decyzji. W przeciwieństwie do modeli statycznych, w których podstawową jednostką umysłu jest reprezentacja, modele dynamiczne obejmują zawsze pewien odcinek czasu potrzebny do uformowania się potencjału czynnościowego. Modele te mają wyjaśniać przejścia od jednych stanów do innych, a w szczególności te własności, które łączą daną czynność z dalszym biegiem działania. Podstawowym założeniem jest to, że każdy proces umysłowy posiada pewne przedłużenie w czasie

---

<sup>4</sup> Należałoby powiedzieć *quasi*-reprezentacja ze względu na ich czysto wirtualny charakter.

<sup>5</sup> M. Spivey, dz. cyt., 8-9.

poza moment postrzeganego zakończenia czynności – to przedłużenie nie jest jednak osobną reprezentacją możliwej kolejnej fazy działania, lecz swoistą inercją umysłu.

Zdaniem Spivey'a kluczem do zrozumienia ciągłej pracy umysłu, która zarazem pozwala na wykonywanie indywidualnych, izolowanych od innych czynności jak ruch, percepcja, decyzja, jest prawdopodobieństwo, z jakim dana faza aktywności umysłu może wywołać daną czynność. Prawdopodobieństwo to nie musi nigdy osiągać wartości 1.0, ponieważ o czynnościach decyduje konkurencja pomiędzy różnymi stanami, zaś dostęp do efektorów uzyskuje ten proces, który ma w danej chwili wystarczająco duże prawdopodobieństwo. Twierdzenie to wydaje się paradoksalne, ponieważ wykonanie danej czynności musiałoby oznaczać, że powstanie odpowiedniego stanu umysłowego osiągnęło 1.0. Jednak samo wykonanie czynności nie jest nigdy zgodne z zasadą „wszystko albo nic” – czynności przejawiają już w czasie ich wykonywania pewne wewnętrzne fluktuacje i dwuznaczności wskazujące bądź to na niezakończone, bądź to na zarodkowe konkurencyjne scenariusze. W czynnościach umysłowych nie chodzi o stworzenie stuprocentowej podstawy czynności, lecz o stworzenie podstawy czynności efektywnej z punktu widzenia zasobów czasowych i energetycznych<sup>6</sup>. Musi być ona dokładna i zdecydowana, tylko w tej mierze, w jakiej wymagają tego warunki zewnętrzne i konkurencja innych możliwych czynności.

Modele dynamiczne opierają się na modelowaniu stanów poznawczych za pomocą wielowymiarowych przestrzeni stanów, których punkty odpowiadają wartościom kolejnych iteracji funkcji wiążących wymiary tej przestrzeni. W zależności od stanów początkowych zbiór wartości wielokrotnych iteracji tych funkcji przejawia charakterystyczną nieliniową strukturę. Istnieją punkty w przestrzeni stanów, które nie są żadną z generowanych przez funkcję wartości, lecz inne wartości koncentrują się w ich pobliżu – mówi się wówczas, że są atraktorami w danej przestrzeni stanów. Wykazano w wielu dziedzinach – przede wszystkim w fizyce – że odwoływanie się do takich przestrzeni ma

---

<sup>6</sup> Tamże, 46-47.



dużą moc wyjaśniającą. Obecnie formułuje się nadzieje związane z użyciem tego rodzaju modelowania do opisanie funkcji umysłu.

Podsumowując, termin „reprezentacja” może się odnosić tylko do fazy pośredniej pomiędzy zmysłowym bodźcem i działaniem fizycznym – faza ta implementowana jest w złożonych strukturach neuronalnych. Ma postać wielu różnych potencjalnych scenariuszy, powstających dzięki konkurencyjnej aktywności różnych populacji neuronów. Konsekwencją podejścia dynamicznego jest to, że mózg – niczym Schrödingerowski kot – znajduje się w kilku stanach jednocześnie. Stany te różnią się prawdopodobieństwem. Prawdopodobieństwa przypisane poszczególnym stanom nie są nigdy zerowe, lecz mamy do czynienia z trajektorią przebywającą przez przestrzeń stanów opisujących te rozkłady prawdopodobieństw.

### 3. NARZĘDZIA MODELOWANIA PRACY UMYŚLU

Modelowanie nakładających się procesów zaangażowanych w konstruowanie scenariuszy czynności wymaga odwzorowania ich na przestrzeń stanów, w której definiuje się wektory prawdopodobieństwa. Owe przestrzenie stanów są najlepszym przybliżeniem tego, co dzieje się pomiędzy bodźcem a działaniem<sup>7</sup>. W zamian za usunięte pojęcie reprezentacji uzyskujemy tu pewne trajektorie w przestrzeni stanów. Czyste stany umysłowe istnieją jako wirtualne lokalizacje w przestrzeni stanów. Trajektorie prawdopodobieństwa w przestrzeni stanów przez stosunkowo krótki czas przebiega w pobliżu atraktorów, a przez znacznie dłuższy czas pomiędzy nimi. Chwiejny charakter równowagi cechuje, zgodnie z dynamicznymi modelami, wszystkie stany poznawcze – od najprostszycy percepcji do zaawansowanych czynności myślowych. Przyczynę tej chwiejnej równowagi można wyjaśnić stałym dopływem bodźców<sup>8</sup>. Systemy dynamiczne przewidują dlaczego w obrębie tego rodzaju procesów muszą zachodzić procesy nieliniowe.

---

<sup>7</sup> Tamże, 5.

<sup>8</sup> Tamże, 35.

Modele te są bowiem wrażliwe na warunki początkowe, które zmieniają się z każdą iteracją.

Informacje o ciągłości (dynamice) procesów poznawczych nie znajdują się na poziomie własności samych procesów, lecz na poziomie prawdopodobieństwa wywołania przez nie zachowań. Tylko tak można uchwycić swoiste „zazębianie” się procesów charakterystyczne dla procesów dynamicznych. Mówiąc obrazowo: proces dynamiczny charakteryzuje się tym, że następna faza tkwi w pewien sposób w fazie wcześniejszej, zaś faza wcześniejsza w późniejszej<sup>9</sup>. Z tych założeń wynika teza Spivey’a o ciągłości umysłu. Głosi ona, że jednocześnie aktywne reprezentacje umysłowe mogą być traktowane jako sumujący się do wartości 1,0 zbiór prawdopodobieństw uruchomienia pewnej liczby alternatywnych działań<sup>10</sup>. Krzywe tych prawdopodobieństw przebiegają gęściej w pobliżu wartości, które reprezentują działania rzeczywiście wykonane. Wartości te nie są jednak wartościami modelującej funkcji<sup>11</sup>.

Jeśli chodzi o narzędzia matematyczne modelowania dynamicznego, to szczególne miejsce przypada odwzorowaniu logistycznemu o postaci  $x_{n+1} = rx_n(1-x_n)$ . Jak już wspomniałem, zostało ono opracowane do innego celu: w modelu demograficznym Pierra Verhulsta służyło do pokazania dynamiki populacji w środowisku pozwalającym

---

<sup>9</sup> Na określenie charakterystycznego dla procesów dynamicznych probabilistycznego wychylenia ku przyszłym stanom Spivey używa określenia „zachłanny proces poznawczy” w tym sensie, że istotną częścią informacji zawartą w danej fazie procesu jest informacja o jego możliwych dalszych ciągach. Tę własność procesów percepcyjnych można zilustrować prostym przykładem: kiedy osoba badana obserwuje na ekranie ruch punktu i eksperymentator nagle zgasi ekran prosząc osobę badaną o wskazanie, w którym miejscu znajdował się punkt w chwili zniknięcia, wskazania są systematycznie przesunięte w kierunku ruchu. Nie chodzi więc o zwykłą niedokładność ikonicznej pamięci, lecz o regularny proces polegający na tym, że element antycypacji jest istotną częścią percepcji.

<sup>10</sup> Wyrażenie „uruchomienie działania” trzeba rozumieć w szerokim sensie; chodzi nie tylko o bezpośrednie impulsy motoryczne, lecz także o percepcję i inne stany poznawcze skojarzone z daną czynnością motoryczną (M. Spivey, dz. cyt., 15).

<sup>11</sup> M. Spivey, dz. cyt., 14.

na przeżycie określonej liczby osobników<sup>12</sup>. Równanie to pasuje do różnych zjawisk, w których zachodzi iteratywne dochodzenie do pewnej wartości w warunkach konkurencyjnych determinacji. Zdaniem Spivey'a nadaje się w szczególności do opisanego powstawania potencjału czynnościowego. Nie znaczy to, że w przypadkach, które wydają się analogiczne do dynamiki populacji, zawsze potrafimy efektywnie zastosować odwzorowanie logistyczne. W tym celu należałoby dysponować pomiarem wielkości  $x$  oraz ustalić wartość parametru  $r$ . Na ogół nie dysponujemy taką wiedzą. Nie znaczy to jednak, że odwzorowanie logistyczne pozostaje tylko inspiracją obrazem, a nie jest rzeczywistą funkcją. W szczególności jego pochodna  $y(1-y)$  została efektywnie użyta (model Rumelharta) do skalowania stopnia, w jakim moduł błędu danego węzła (oczekiwana wartość wyjścia minus rzeczywista wartość wyjścia pomnożona przez wartość presynaptycznej aktywacji) może zmieniać wagę sygnałów na wejściu. To udane zastosowanie motywuje do podjęcia prób modelowania potencjałów czynnościowych za pomocą sztucznych sieci neuronalnych ze wsteczną propagacją błędów.

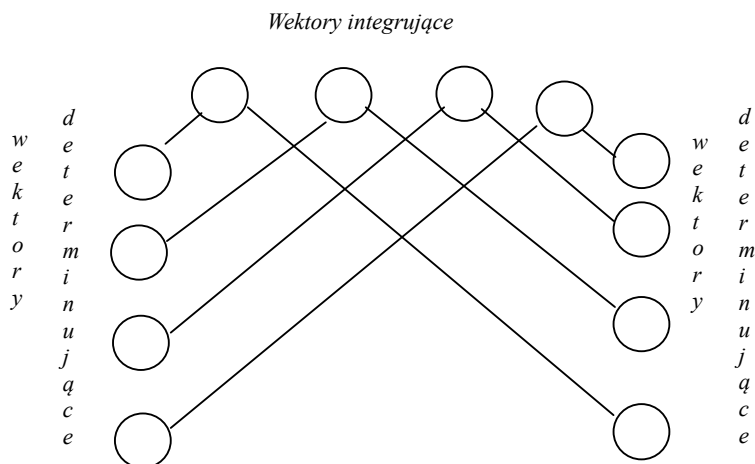
Głównym narzędziem Spivey'a jest pewna prosta sieć, a mianowicie znormalizowana rekurencyjna sieć z lokalnymi atraktorami (*normalized recurrence localist attractor network*) – dalej NRLAN<sup>13</sup>. Sieć ta pozwala na składanie różnorodnych formatów informacji za pomocą przedstawiania ich jako prawdopodobieństw. Sieć buduje się następująco: bierze się wszystkie wektory reprezentujące możliwe działania w odpowiedniej przestrzeni stanów jako wektory wyjściowe zaś wektory reprezentujące rzeczywiście wykonane działania jako wektory wynikowe. Potem dokonuje się normalizacji otrzymanych wektorów tak, by sumowały się do 1, co

---

<sup>12</sup> Liczba  $x_n$  jest liczbą pomiędzy 0 i 1 i reprezentuje populację w danym roku  $n$  ( $x_0$  – populacja w roku 0) – reprezentacja ta oddaje część maksymalnej pojemności środowiska: 1 jest tu maksymalną wartością a 0 minimalną;  $r$  jest liczbą dodatnią, stanowiącą kombinację prędkości reprodukcji i wymierania. Równanie ma wychwytywać wzrost przy małych wielkościach populacji i zmniejszanie się na skutek dojścia populacji do granic wydolności środowiska.

<sup>13</sup> M. Spivey, dz. cyt., 96-97.

daje obraz konkurencji (o dostęp do efektora) pomiędzy możliwymi w danym momencie czynnościami. Inaczej mówiąc, węzły sieci odpowiadają wektorom w przestrzeni stanów, które z kolei (na mocy normalizacji) oznaczają prawdopodobieństwa pewnych dysjunktywnych zachowań. Zadaniem sieci neuronalnej jest modelowanie mechanizmu przechodzenia od jednych takich profili (złożonych stanów prawdopodobieństwa kilku dysjunktywnych czynności) do następnych. Schemat prostej NRLAN wygląda następująco:



Typowe funkcjonowanie sieci zawiera powtarzanie następującej sekwencji kroków: (1) normalizacja wektorów determinujących, czyli dzielenie każdego z nich przez jego długość; (2) ważone dodawanie konkurujących (znormalizowanych) wektorów determinujących i przesyłanie wyniku do wektora integrującego; (3) normalizowanie wektorów integrujących; (4) przesyłanie wzmocnienia do wektorów determinujących, które polega na aktywacji wektora integrującego (po normalizacji) pomnożonego przez ważony impuls otrzymany z danej składowej wektora determinującego i dodany do obecnej aktywacji tej

składowej<sup>14</sup>. Kroki te prowadzą do stopniowego uzyskiwania przewagi na skali prawdopodobieństwa przez jeden z wektorów integrujących. Po przekroczeniu ustalonego progu (zwykle dość dalekiego od 1.0) dochodzi do wykonania działania. Spivey uważa, że owo wykonanie nie zatrzymuje dynamiki procesu, działania nigdy nie są całkowicie jednoznaczne, a ich scenariusze zamknięte; w odpowiednio małej skali czasowej widać w nich charakterystyczne ambiwalencje i luki, które są efektem niewygaszonych możliwości innych działań, które nie uzyskały wprawdzie dostatecznej przewagi na skali prawdopodobieństwa, lecz wciąż oddziałują przyczynowo na całościowy stan aktywacji. Inaczej mówiąc, utrzymuje się niezerowe prawdopodobieństwo, że wywołają przypisane sobie działania. To z kolei przyczynia się do pewnego zaburzenia już podjętego działania, lecz jest to właśnie cena za udział każdego działania w działaniach kolejnych. Pewne elementy wykonywanej w danej chwili czynności są już częścią mechanizmu selekcjonującego kolejne działania w nowej przestrzeni stanów. Tę właśnie cechę Spivey nazywa *ciągłością umysłu*.

Na tych uwagach można zakończyć ogólne omówienie założeń dynamicznego modelu umysłu w wersji Spivey'a. Nie sądzę, by dało się dyskutować o tej propozycji w całej ogólności, dlatego w dalszym ciągu zajmę się tylko jednym zastosowaniem jego koncepcji.

#### 4. DYNAMIKA CZASOWA W SPOSTRZEGANIU WZROKOWYM

Sieci typu NRLAN można wykorzystać do modelowania wielu procesów. W swojej monografii Spivey podaje przykłady z zakresu podejmowania decyzji, rozpoznawania znaków językowych, kategoryzacji przedmiotów i percepcji. Dla wszystkich podane są zasady konstrukcji sieci i odpowiednie skrypty programów, które można samodzielnie uruchomić na domowym komputerze. W dalszym ciągu artykułu skupię się na jednym tylko zastosowaniu: na modelowaniu przeszukiwania pola widzenia w poszukiwaniu zadanego przedmio-

---

<sup>14</sup> Tamże, 103-104.

tu umieszczonego wśród pewnej liczby przedmiotów rozpraszających (dystraktorów).

Przeszukiwanie przez oko pola widzenia w celu wykrycia pozytywnej informacji jest zjawiskiem bardzo intensywnie badanym zarówno ze względu na fascynujące mechanizmy samego widzenia, jak i z powodu wglądu w inne aspekty ludzkiego umysłu (uwaga, pamięć, reprezentacja, itd.), jaki można uzyskać poprzez mechanizmy widzenia. Zdaniem Spivey'a badania tych kwestii wciąż nie wyszły poza podejście metodologiczne Davida Marra, który w swojej klasycznej już dla kognitywistyki książce z 1982 roku *Vision* zakładał, że funkcją widzenia jest wydobywanie informacji o przedmiotach i ich własnościach. W istocie, zdaniem psychologów takich jak Spivey oraz filozofów takich jak Alva Noë<sup>15</sup> rozpoznawanie przedmiotów ma dla żywych organizmów posługujących się wzrokiem funkcję wtórną – pierwotna jest funkcja narzędziowa, przede wszystkim kontrola działania<sup>16</sup>. W przeszukiwaniu pola widzenia chodzi wprawdzie o identyfikację przedmiotu, lecz nie ono samo jest tu istotne, lecz wykonanie zadania, do którego rozpoznanie przedmiotu jest środkiem; jedynie w warunkach laboratoryjnych działanie to jest tak skonstruowane, by było identyczne z identyfikacją przedmiotu.

Wśród mechanizmów zbierających informację potrzebną do skutecznej penetracji pola widzenia ważne są ruchy sakadyczne. Wydaje się na pozór, że nie podpadają one pod dynamiczny model Spivey'a, ponieważ dostarczają serii statycznych obrazów (reprezentacji ikonicznych), a w czasie samego ruchu sakadycznego przetwarzanie wzrokowe jest wstrzymane, lecz z drugiej strony samo kierowanie ruchem sakadycznym jest skomplikowanym procesem obejmującym do 100 ms przygotowań. Przygotowania te korzystają z tego samego zasobu informacji wizualnej, którą przygotowują proces ma dopiero dostarczyć. Ten pozorny paradoks wymaga wyjaśnienia i w istocie zaproponowano już wiele cząstkowych i całościowych wyjaśnień tego

---

<sup>15</sup> A. Noë, *Action in Perception*, MIT Press, Cambridge Mass. 2004.

<sup>16</sup> M. Spivey, dz. cyt., 234.

zjawiska<sup>17</sup>. Dynamiczny związek pomiędzy obiema fazami widzenia: instrumentalną, polegającą na obliczaniu parametrów kolejnych ruchów sakadycznych, i docelową, w której rozpoznana jest dystrybucja przedmiotów w polu widzenia, widać dobrze w następującym eksperymencie. Podczas treningu małpy w udzielaniu odpowiedzi dotyczących ruchu kierunku ruchu bodźców na ekranie monitorowano jej mózg w poszukiwaniu obszaru odpowiedzialnego za powstawanie konkretnej sakady, która ukształtowała się na skutek ćwiczenia. Po wykryciu tego obszaru opracowano metodę sztucznego wywoływania tej sakady za pomocą impulsów skierowanych na właściwe pole kory mózgowej – bez związku z aktualnym wyglądem pola widzenia. Następnie prezentowano małpie nowy układ bodźców i jednocześnie wywoływano ową sztuczną sakadę. Okazało się, że jej kierunek i długość były systematycznie odchyłone w stronę rzeczywistego położenia przedmiotów w nowym polu widzenia. Ta obserwacja podważa, zdaniem Spivey'a, dość popularną koncepcję, zgodnie z którą w przeszukiwaniu wzrokowym dokonuje się najpierw przed-uważne przeglądanie pola, a potem dobrowolny ruch oka korygujący. Jeśli sztucznie wzbudzona, wymuszona sakada odchyła się, to znaczy, że te same neurony już pracowały nad udzieleniem odpowiedzi związanej z nowym zadaniem; inaczej mówiąc, należały do dwóch wirtualnych stanów jednocześnie. Rzeczywisty ruch wzbudzonej sakady jest więc kompromisem pomiędzy tymi dwiema determinacjami<sup>18</sup>.

Istniejące badania pokazują, że jeśli obiekt szukany różni się od obiektów rozpraszających tylko jedną cechą, czas reakcji nie zależy od liczby obiektów rozpraszających, lecz jeśli różni się kilkoma cechami, zależy<sup>19</sup>. Ten wynik był również uważany za potwierdzenie teorii mówiącej, że najpierw buduje się powierzchnową („nieuważną”) mapę własności, a potem dopiero wyznacza na tej mapie miejsca przedmiotów. Zgodnie z tą koncepcją przedmiot różniący się od innych tylko jedną cechą ma jeden punkt aktywacji na tej mapie cech i dlatego

---

<sup>17</sup> Tamże, 209.

<sup>18</sup> Tamże, 216-217.

<sup>19</sup> Tamże, 218.

pojawia się niezależnie od innych. Jednak inne badania pokazały, że przedmiot poszukiwany różniący się wieloma cechami od dystraktorów niekoniecznie powoduje liniowy wzrost czasu reakcji. A zatem wchodzi tu w grę bardziej skomplikowany mechanizm polegający nie na analizie własności izolowanych przedmiotów, lecz na subtelniejszej relacji pomiędzy przedmiotem poszukiwanym i dystraktorami – relacja ta obejmuje również pewne całościowe własności pola. O tym, że wchodzi tu grę te ostatnie, świadczy wynik otrzymany przez Oldsa i współpracowników, którzy stwierdzili, że poszukiwanie oparte na wielu cechach odróżniających poprzedzone krótkim (poniżej progu świadomości) zaprezentowaniem układu z jedną cechą odróżniającą ułatwia przeszukiwanie<sup>20</sup>.

Obserwacje wskazujące na relatywny charakter informacji wykorzystywanych w czasie przeszukiwania zachęca do zastosowania modelu opartego na sieci NRLAN. Cechy A i B rozłożone są na 7 wektorów determinujących odpowiadających cechom równych przedmiotów. Wektor integrujący służy jako miara ogólnego podobieństwa danego przedmiotu do celu. Działanie sieci jest następujące: dwa konkurujące wektory są normalizowane i aktywacja wysłana do wektora integrującego, w którym przedstawiane jest ich uśrednienie. Następnie informacja zwrotna w postaci iloczynu wyjściowych wektorów wysłana jest z powrotem do wektorów determinujących. W kolejnych iteracjach sieć ta odtwarza wynik empiryczny mówiący o wzroście czasu reakcji w większych zbiorach. Krzywe logistyczne pokazujące zależność poziomu aktywacji przedmiotu poszukiwanego od ilości iteracji przesuwają się w prawo w zależności od wielkości zbioru.

Inna symulacja wykorzystująca podobną sieć wyraża wpływ podobieństwa celu do obiektu rozpraszającego. Efektywność to ogólne położenie krzywej pokazującej zależność liczby potrzebnych iteracji do wielkości zbioru. Krzywe efektywności dla dużego podobieństwa położone są dalej wzdłuż osi, na której odnotowuje się liczbę iteracji. Wymagają średnio większej liczby iteracji, czyli są mniej efektywne.

---

<sup>20</sup> Tamże, 221.



Nachylenie krzywych jest natomiast jednakowe. Jeszcze inna symulacja oddaje wpływ stopnia podobieństwa pomiędzy obiektami rozpraszającymi na szybkość przeszukiwania. Im większe wzajemne podobieństwo dystraktorów, tym poszukiwanie sprawniejsze. Wyniki tych dwóch ostatnich symulacji można ująć w postaci pewnej teoretycznej powierzchni wygiętej w trzech wymiarach. Dwa wymiary to te dwa typy podobieństw (podobieństwo dystraktorów do celu, podobieństwo wzajemne dystraktorów), zaś trzeci wymiar to symulowany czas reakcji (jednej iteracji przypisuje się standardowo pewien czas trwania).

## 5. KRYTYCZNA Dyskusja dynamicznego modelu Przeszukiwania wzrokowego

Podstawowy problem z interpretacją Spivey'a polega na tym, że nie obejmuje ona – i to, jak sądzę, z konieczności – wielu własności wzrokowego przeszukiwania. Problem powstaje szczególnie wtedy, gdy system korzysta z informacji nie wchodzących w bezpośrednie relacje konkurencji, na przykład, kiedy spostrzeżenie przedmiotu współdziała z pamięcią o jego wcześniejszym położeniu, albo gdy pamięć kształtów współpracuje z pamięcią lokalizacji, albo kiedy na wszystkie percepcyjne własności nakłada się natężenie uwagi. Wreszcie w grę wchodzi takie czynniki, jak: punkt rozpoczęcia poszukiwania oraz jego systematyczność (ta ostatnia cecha związana jest z pamięcią przestrzenną – chodzi o to, by nie wracać do sprawdzonych już lokalizacji). Wszystkie te czynniki są badane eksperymentalnie zarówno z udziałem ludzkich podmiotów, jak i w postaci komputerowych symulacji. W kolejnych paragrafach przedstawiam wybrane wyniki z tego zakresu.

### 5.1. SYMULACJA *OFF-LINE*<sup>21</sup>

Ruchy gałki ocznej potrzebne do przeszukiwania pola wzrokowego mają różny charakter. Jak już wyżej wspomniałem, do pełnego ziden-

---

<sup>21</sup> Referat doświadczeń Rao i współpracowników na następnych dwóch stronach oparty jest na moim wcześniejszym artykule *Symulacja jako mechanizm percepcji* opublikowanym w książce *Doświadczenie i pojęcie*, Wyd. IFiS PAN, Warszawa 2006.

tyfikowania czynników wpływających na efektywność całego procesu potrzebne jest uwzględnienie mechanizmu ruchów sakadycznych. Przed wykonaniem ruchu sakadycznego aparat wzrokowy musi obliczyć parametry punktu docelowego tego ruchu; wiele badań sugeruje, że obliczenia te opierają się na wzrokowych cechach przedmiotów znajdujących się w polu widzenia. Jest to swoiste widzenie przed widzeniem, które trzeba uwzględnić w ogólnej ekonomii procesów odpowiedzialnych za wzrokowe wyszukiwanie przedmiotów. Mechanizm obliczania ruchów sakadycznych nasuwa myśl o możliwości równoległego przetwarzania informacji wzrokowej w przynajmniej dwóch różnych kanałach, z których jeden pełni funkcję symulatora dla drugiego. Mechanizm obliczający wektor mającego nastąpić ruchu sakadycznego musi spełnić trzy kryteria: (1) niespecyficzność, ponieważ własności wzrokowe obiektów w polu widzenia mogą być bardzo różne; (2) szybkość działania (80-100 ms); (3) możliwość pracy w niskich rozdzielczościach przestrzennych, ponieważ tylko takie są dostępne dla niecentralnych części siatkówki, wykorzystywanych z konieczności do odbierania potrzebnych informacji.

Najprostszy model rozważany przez Rao i współpracowników (2002) zakłada, że obliczanie parametrów ruchu sakadycznego (czyli przede wszystkim współrzędnych położenia celu tego ruchu) odbywa się przez porównanie ikonicznej pamięci celu z bieżącym rozkładem optycznym. Problem polega na tym, że obrazy te nie mogą być przechowywane z całą ich złożonością, ponieważ byłoby to informacyjnie zbyt kosztowne i niemożliwe do przeanalizowania w zadanym czasie. System wzrokowy musi odfiltrować z obrazu to, co istotne dla bieżącego zadania. W tym celu, jak zakłada omawiana teoria, aparat wzrokowy korzysta z filtrów polegających na dziewięciokrotnym różniczkowaniu gaussowskiego rozkładu jasności z centrum w danym punkcie  $x_0, y_0$  w trzech różnych zakresach częstościowych. Reakcja na dany fragment obrazu da się opisać jako wektor  $[r_{i,j,s}(x_0, y_0)]$ , gdzie  $i = 0, 1, 2, 3 \dots$  oznacza rząd filtra (rząd pochodnej),  $j = 1, \dots, i+1$  oznacza kolejny filtr w danym rzędzie, zaś  $s = s_{\min}, \dots, s_{\max}$  oznacza skalę użytą

dla danego filtra. W sumie więc informacja wzrokowa miałaby być tu poddana 27 operacjom.

Korzyści, jakie przynosi ten model, są trzy: (1) proces porównywania jest szybki, ponieważ sprowadza się do sprawdzania korelacji przefiltrowanej informacji o relatywnie prostej strukturze z aktualnymi sygnałami wzrokowymi, a w dodatku odpowiednie obliczenia mogą być dokonywane równoległe z innymi przetworzeniami informacji otrzymanej z rozkładu pobudzeń na siatkówce; (2) proces obliczania współrzędnych ruchu sakadycznego jest oddzielony od procesu identyfikowania celu, co usuwa konieczność porównywania nowo otrzymanej informacji z innymi relewantnymi informacjami (taki proces byłby zbyt czasochłonny); (3) postulowany mechanizm jest odporny na zaburzenia ze względu na wielowymiarowość wynikowego wektora.

Zbiór opisanych wyżej wektorów dla danego czasowego przekroju pola widzenia daje pewien rodzaj mapy wizualnej wyrazistości (*saliency map*). Trudność związana z generowaniem ruchu sakadycznego polega na tym, że aparat wzrokowy musi zmierzyć korelację pomiędzy nowym i starym punktem koncentracji wzroku bez wkładania w to detalicznej informacji o widzianych przedmiotach. Musi zostać stwierdzona ciągłość lub nieciągłość pomiędzy informacją zawartą w nowym i starym miejscu. Porównywaniu podlega tu odpowiedź filtra w miejscu starym i dystrybucja sygnału w miejscu docelowym. Mapa wizualna powstaje właśnie na skutek wytypowania najwyższej korelacji pomiędzy informacją przefiltrowaną a nową dystrybucją sygnału. System oblicza „wartość wzrokową” (*saliency value*) w położeniu  $(x,y)$  jako sumę kwadratów różnic pomiędzy odpowiadającymi sobie składnikami wektora  $r_s$  w położeniu obrazu i zapamiętanego wektora przedmiotu docelowego  $r_s^m$  we wszystkich skalach filtrowania  $s=1, \dots, \max$ . Lokalizacja celu ruchu sakadycznego jest miejscem, gdzie występuje największe podobieństwo do celu<sup>22</sup>.

---

<sup>22</sup> R.P.N. Rao, G.J. Zelinsky, M.M. Hayhoe, D.H. Ballard, *Eye movements in iconic visual search*, “Vision Research” 42(2002)11, 6.

Opisany wyżej mechanizm był testowany w systemach sztucznych. Rzeczywisty mechanizm widzenia jest jeszcze niepoznany. Wydaje się, że jest on szybszy i sprawniejszy niż testowany system sztuczny. Przyczyny są tu prawdopodobnie trzy: (1) obliczanie parametrów mapy wzrokowej nie dochodzi nigdy do końca; nie ma ostatecznego obliczenia maksimum podobieństw; (2) obliczanie parametrów mapy wzrokowej zaczyna się od wykorzystania mniejszych częstości przestrzennych, stopniowo w miarę potrzeby dodając obliczenia oparte na większych częstościach; (3) nie następuje jednoznaczne wskazanie celu ruchu gałki ocznej, lokalizacja opiera się na średniej ważonej kilku różnych szacunków<sup>23</sup> (Rao i in. 2000, 11-13).

Konstruowanie map wizualnych przez gradacyjne używanie filtrów jest czymś w rodzaju symulacji, służy do obliczeń pomocniczych. Symulacje zawierają parametry o charakterze nienaocznym, mianowicie z góry założoną dokładność oraz mechanizmy szacowania prawdopodobieństwa lokalizacji celu ruchu sakadycznego. Skąd biorą się te parametry? Czy mają związek z wcześniejszą wiedzą o otoczeniu? Czy odwołują się do innych nienaocznych elementów w reprezentacji świata? Jakiekolwiek byłyby odpowiedzi na te pytania, wykraczają one poza model zaproponowany przez Spivey'a. Model ten opiera się bowiem na przestrzeni stanów, której wymiary powinny być związane funkcjami. Tymczasem jest mało prawdopodobne, by wyżej opisane parametry symulacji dało się związać funkcjami z takimi własnościami wizualnymi przedmiotów, jak kształty i orientacje. Symulacje opierają się na parametrach, które nie są wprost wyprowadzone z widzianych własności świata, lecz odpowiadają (prawdopodobnie) wykształconym ewolucyjnie mechanizmom kontroli ruchu.

## 5.2. ROLA PAMIĘCI

Z badań A. Kristiansona (2000) wynika, że przeszukiwanie wzrokowe opiera się również na pamięci topograficznej. Przy poruszających się celach i dystraktorach czas reakcji znacznie rośnie, szczególnie jeśli w czasie przemieszczania się dochodzi do umieszczenia dys-

---

<sup>23</sup> Tamże, 11-12.

traktora w miejscu wcześniej zajętym przez przedmiot poszukiwany. Zmusza to system wzrokowy do sprawdzania jeszcze raz tych samych miejsc, co przedłuża czas reakcji. Lecz z drugiej strony wcześniejsze badania Horowitza pokazały, że stopień pogarszania się efektywności przy zwiększającej się liczbie przedmiotów w polu widzenia nie różni się przy zbiorach poruszających się i nie poruszających się. Ta rozbieżność stała się motywem dla dwóch innych eksperymentów.

W pierwszym eksperymencie porównano dwie sytuacje: (1) Wszystkie przedmioty w polu widzenia, zarówno przedmiot poszukiwany, jak dystraktory, zmieniają orientacje. Ponadto zmieniają też co 110 ms położenie w ten sposób, że jeden z dystraktorów staje na miejscu, które wcześniej zajmował przedmiot poszukiwany; (2) Wszystkie przedmioty w polu widzenia, zarówno przedmiot poszukiwany, jak dystraktory, zmieniają orientacje, lecz żaden nie zmienia położenia.

Rezultaty eksperymentu pokazują znaczny wpływ pamięci położenia przedmiotów na efektywność wyszukiwania. Wyraża się on w profilu krzywej zależności pomiędzy czasem reakcji przy wykrywaniu przedmiotu a liczbą przedmiotów w polu widzenia. W pierwszej sytuacji krzywa jest wyraźnie bardziej stroma. Osoby badane wkładały dodatkowy wysiłek w powtórne sprawdzanie miejsc już poprzednio sprawdzanych.

W drugim eksperymencie obiekty poruszają się bez zastępowania. Dla małych liczebności przedmiotów nachylenie krzywej efektywności nie było znacząco różne od tego w pierwszym eksperymencie, co zdaje się świadczyć o tym, że zapamiętywanie położenia nieznacznie tylko wpływa na normalne trudności związane z rozpoznawaniem przedmiotów, kiedy właśnie rozpoznawanie wzrokowe cech przedmiotów jest dostępne dla wszystkich przedmiotów w polu. Kiedy liczba przedmiotów rośnie, rozpoznawanie wzrokowe musi być optymalizowane, a koszt powracania do tego samego miejsca trzeba eliminować za pomocą pamięci położenia, dlatego stabilne położenia przedmiotów znacznie poprawiają efektywność wyszukiwania w stosunku do sytuacji z przedmiotami ruchomymi. Z kolei przy bardzo dużych zbiorach krzywe efektywności dla obu sytuacji przebiegają znów podobnie

(obie są spłaszczone, czyli poziom trudności szybko się stabilizuje), co prawdopodobnie wynika z faktu, że trafienie na przedmiot poszukiwany w polu jest tu w znacznym stopniu przypadkowe, niezależnie od zaangażowanych sposobów.

Środkowy przedział krzywej efektywności ujawnia kluczowy udział pamięci położeń w wykonywaniu zadania. Problem, jaki stoi przed dynamicznym modelowaniem przeszukiwania wzrokowego, polega na tym, że powinien uwzględnić dodatkowy wymiar rozważanej przestrzeni stanów – pamięć położeń. Lecz dołączenie nowego wymiaru do przestrzeni stanów jest prawomocne tylko wtedy, gdy potrafimy związać go z pozostałymi wymiarami za pomocą funkcji. W przeciwnym razie konstrukcja modelu jest czysto arbitralna i jego wartość wyjaśniająca ogranicza się do sugestywnej analogii. Pewne układy dynamiczne odwzorowują bardzo odległe od siebie fenomeny. Jest to powodem pewnej ekscytacji, wydaje się bowiem, że za tym wspólnym zastosowaniem musi stać głębsza przyczyna – uniwersalne prawa działania układów złożonych. Dopóki jednak te modele nie zostaną oparte na własnościach modelowanych przedmiotów, ich wartość eksplanacyjna jest bardzo ograniczona. W przypadku dynamicznego modelu przeszukiwania wzrokowego nie mamy dostatecznej wiedzy, by dołączyć pamięć położeń do rozpoznawania cech przedmiotów jako nowy wymiar przestrzeni stanów.

### 5.3. NIERÓWNOMIERNY ROZKŁAD UWAGI W PRZESZUKIWANIU WZROKOWYM

Dotychczas omówione hipotezy odnoszące się do mechanizmów przeszukiwania pola wzrokowego koncentrowały się na spostrzeganych własnościach przedmiotów (Spivey) lub na dodatkowych mechanizmach symulujących własności pola wzrokowego (Rao i inni). Jeszcze inne badania przeprowadzone przez Rezec i Dobkins odwołują się do mechanizmów uwagi i analizują asymetrie w szybkości i dokładności przetwarzania informacji pomiędzy górną i dolną częścią pola widzenia<sup>24</sup>.

---

<sup>24</sup> A.A. Rezec, K.R. Dobkins, *Attentional weighting: A possible account of visual field asymmetries in visual search?*, "Spatial Vision" 17(2004)4-5.

Przed dyskusją wyników Rezec i Dobkins trzeba zauważyć, że każde ze wspomnianych badań dotyczy innego aspektu zjawiska. W przypadku Spivey'a chodzi o wewnętrzną strukturę samego ruchu sakadycznego, a właściwie całego zespołu konkurujących (zaczątkowych) ruchów sakadycznych; bada się tu proces decyzyjny, który dla każdego węzła decyzyjnego  $n$  posiada co najmniej 1 a co najwyżej  $n-1$  podporządkowanych węzłów wspólnych z innymi wchodzącymi w grę ruchami. W przypadku modelu symulacyjnego pojedynczy ruch sakadyczny jest wyabstrahowany z drzewa decyzyjnego. Wydziela się tu jedną ścieżkę decyzyjną i poszukuje się dla niej mechanizmu obliczeniowego w postaci prowadzonej *off-line* symulacji. W omówionych badaniach Kristiansena chodzi o pamięć miejsc, która determinuje nie tyle jeden ruch sakadyczny, ile strategię wszystkich ruchów przeszukujących w danej sytuacji (pamięć topograficzna dotyczy całego pola). Natomiast w badaniach Rezec i Dobkins strategia jest o tyle oryginalna, że możliwość wykonania ruchu sakadycznego jest właśnie zablokowana – oko osób badanych pozostaje zafiksowane w centralnym punkcie pola, a bodziec jest eksponowany zbyt krótko (około 200 ms), by doszło do wykonania penetrującego ruchu oka. To zablokowanie pozwala ujawnić dynamikę pola widzenia wpływającą na ewentualny ruch sakadyczny i inne ruchy przeszukujące, lecz niebędącą jego efektywnym składnikiem<sup>25</sup>.

Wyniki Rezec i Dobkins pozwalają wskazać nieobecny w poprzednich propozycjach czynnik sterujący przeszukiwaniem pola wzrokowego, a mianowicie dystrybucję uwagi. Punktem wyjścia są tu liczne wyniki pokazujące prymat dolnej części pola wzrokowego. Odpowiedzi badanych, wskazujące umiejscowienie poszukiwanego bodźca, są znacząco szybsze i dokładniejsze, kiedy bodziec znajduje się w dolnej

---

<sup>25</sup> Wszystkie przytoczone hipotezy mogą być prawdziwe jednocześnie, lecz tylko w jakimś mierze – częściowo bowiem przypisują typowanym przez siebie mechanizmom te same kompetencje, a to prowadziłyby do redundancji. Znane są wprawdzie redundantne czynności poznawcze, lecz w tym przypadku redundancja byłaby zbyt wielka i przeczyłaby założeniom przyjmowanym we wszystkich trzech hipotezach, że system wzrokowy przeszukuje pole wzrokowe „po najmniejszych kosztach” osiągając chwijną równowagę pomiędzy szybkością i dokładnością.

części pola wzrokowego. Badaczki zmierzają do odpowiedzi na pytanie, czy tę asymetrię można wyjaśnić lepszą recepcją i przetwarzaniem informacji zmysłowej pochodzącej z tej części pola, czy raczej przez odwołanie się do niezależnego, bardziej pierwotnego mechanizmu rozkładającego uwagę z preferencją dolnej części pola wzrokowego. Badaczki skłaniają się do drugiej hipotezy. Przedstawię krótko ich wyniki i pokażę, jakie światło rzucają one na pozostałe dwie hipotezy.

W badaniach wykorzystano bodźce polegające na typie ruchu składowych bodźca (ruch uporządkowany kropek na ekranie versus zaburzający ruch nieuporządkowany w innych częściach pola) i bodźce polegające na typie orientacji składowych bodźca (wskazywanie odcinków jednakowo zorientowanych według pionu). Badano czas reakcji przy rozpoznawaniu, czy zadany bodziec znajdował się w polu widzenia. Bodźce prezentowano na kilka sposobów: (1) jako pojedynczy bodziec nie poprzedzony bodźcem kierującym; (2) jako wielokrotny bodziec nie poprzedzony bodźcem kierującym; (3) jako wielokrotny bodziec poprzedzony bodźcem kierującym w postaci kropki pojawiającej się na chwilę przed głównym bodźcem (badani byli świadomi, że się pojawi i przygotowani do skorzystania z tej podpowiedzi); (3) jako wielokrotny bodziec poprzedzony bodźcem kierującym w postaci bardziej wyraźnego okręgu otaczającego przyszły bodziec.

Zastosowana metoda pozwalała wyeliminować odpowiedź, że preferencja dolnego pola wzrokowego jest skutkiem odmiennego przetwarzania bodźców zmysłowych<sup>26</sup>. Świadczy o tym utrzymanie się preferencji (choć zmniejszonej) w przypadku bodźca wielokrotnego i wyraźnie nakierowanego przez wcześniejszy bodziec wskazujący przybliżone miejsce poszukiwanego przedmiotu. Przeprowadzono również osobne eksperymenty pokazujące wpływ zwiększania liczby bodźców na efektywność przeszukiwania. Badania te pozwoliły rozstrzygnąć pomiędzy dwoma wyjaśnieniami zależności pomiędzy efektywnością przeszukiwania a liczbą bodźców. Pierwsza interpreta-

---

<sup>26</sup> Wyeliminowano również efekt wyraźności bodźca przez odpowiednią konstrukcję wyświetlacza oraz efekt stłoczenia (sąsiadujących) bodźców przez ekspozycję bodźców w odpowiednich odległościach.



cja zakłada ograniczoną wydolność systemu, czyli przewiduje gorsze rejestrowania bodźców, kiedy ich liczba się zwiększa. Druga zakłada nieograniczoną wydolność systemu rejestrującego z równą dokładnością wszystkie bodźce, zaś przyczynę ogólnie mniejszej sprawności upatruje w błędach decyzyjnych na wyższym poziomie przetwarzania informacji zmysłowej. Autorki wyznaczyły teoretycznie wagę, którą należy przypisać oddziaływaniu uwagi na efektywność wyszukiwania dla obu modeli, i potwierdziły eksperymentalnie model zakładający nieograniczoną sprawność<sup>27</sup>. Oznacza to, że system używa tu raczej mechanizmów wyższego rzędu, czyli że błąd powstaje na poziomie decyzji o wskazaniu bodźca.

Wydaje się, że mamy tu pewną zbieżność z dynamicznym modelem przeszukiwania wzrokowego, który proponuje Spivey. U niego również przeszukiwanie jest procesem decyzyjnym, zmierzającym do wytypowania przedmiotu, który z najwyższym prawdopodobieństwem można uznać za przedmiot poszukiwany. Lecz model Spivey'a opiera się na własnościach poszukiwanych przedmiotów. Uwzględnienie dystrybucji uwagi w polu wymagałaby dołączenia nowego wymiaru do analizowanej przezeń przestrzeni stanów, czyli zbudowania nowej zintegrowanej przestrzeni stanów. W tym miejscu można powtórzyć zarzut z punktu poprzedniego, w którym była mowa o pamięci położeń. Tak samo jak w tamtym przypadku, nie dysponujemy funkcjami, które pozwalałyby zintegrować zmienne dotyczące uwagi ze zmiennymi dotyczącymi cech przedmiotów. Czysto arbitralne dołączenie nowego wymiaru sprawia, że model wyjaśniający staje się tylko użyteczną analogią.

## 6. KONKLUZJA

Spivey stara się uzasadnić tezę, że kluczowa dla funkcjonowania umysłu informacja zawarta jest w przestrzeni stanów skonstruowanej dla każdej czynności i reprezentującej zbiór prawdopodobieństw możliwych w danych warunkach zachowań. W przeciwieństwie do

---

<sup>27</sup> A.A. Rezec, K.R. Dobkins, dz. cyt., 284.

dominującego w kognitywistyce paradygmatu nakazującego poszukiwanie reprezentacji stanów otoczenia, Spivey utrzymuje, że poziom reprezentacji jest redundantny – interakcję ze światem regulują nie reprezentacje, lecz pokrywające się częściowo i konkurujące o dostęp do efektorów plany i strategie zachowania. Powstawanie warunków wystarczających do wykonania danego działania polega więc na rozstrzygnięciu pewnego współzawodnictwa, w którym wygrana wyraża się w relatywnie najwyższym i przekraczającym pewien próg prawdopodobieństwie. Działanie umysłu jest procesem ciągłym. Te same aktywne centra uczestniczą w wielu scenariuszach działania, dlatego modelowanie tego procesu wymaga odwzorowania fizycznych parametrów działania na przestrzeń prawdopodobieństwa, w której lokalne maksima (maksymalne przybliżenie do wielości pozwalającej na wykonanie działania) osiągnane są za pomocą iteracji właściwej dla danego procesu funkcji. Funkcje rozważane przez Spivey'a są wariantami odwzorowania logistycznego.

W artykule starałem się pokazać niewystarczalność tego podejścia w odniesieniu do pozornie prostej czynności percepcyjnej, jaką jest przeszukiwanie pola widzenia w poszukiwaniu zadanego przedmiotu. Na gruncie wiedzy, którą obecnie dysponujemy, nie da się podać dynamicznej interpretacji tego skomplikowanego procesu. Ten problem – sam w sobie poważny – wskazuje jednak na bardziej ogólną trudność: jeśli postulowane w modelach przestrzenie stanów mają być czymś więcej niż inspirującą analogią, trzeba wskazać przedmioty i własności, do których odnoszą się wielkości w poszczególnych wymiarach. Spivey sugeruje, że ostatecznie chodzi tu o rozkłady aktywności w populacjach neuronów. W rzeczywistości jednak korzysta on z potocznych opisów własności przedmiotów. Mówiąc obrazowo, w teoriach dynamiczno-probabilistycznych przestrzenie stanów nałożone są jako wirtualne narzędzia na nasze zdroworoządkowe intuicje dotyczące przedmiotów i zdarzeń<sup>28</sup>. Same te intuicje pozostają jednak niewyjaśnione, co kłóci się z ideą kognitywistyki mającej za zadanie wyjaśnienie

---

<sup>28</sup> Dziękuję dr. Marcinowi Miłkowskiemu za tę uwagę, wygłoszoną w dyskusji na seminarium *Filozofia kognitywistyki* w IFiS PAN.

nie naszego sposobu poznawania świata. Inaczej mówiąc, uważam, że przestrzenie stanów Spivey'a i symulujące je rekurencyjne sztuczne sieci neuronalne nie opisują mózgu. Słowo „umysł” służy tu bardziej ukryciu, że w istocie nie wiemy do jakiego poziomu opisu rzeczywistości stosują się modele dynamiczne. Dlatego narzędzia matematyczne i informatyczne stosuje się tu nader swobodnie. Deklaruje się jedynie pewną moc predykcyjną proponowanych modeli. Nie dostarcza się jednak wyjaśnienia, skąd pochodzi ta moc predykcyjna. Nie mając uzasadnienia opartego na rzeczywistych związkach, możemy jedynie powiedzieć, że wyniki uzyskane z tego modelu bardziej niż inne przypominają wyniki eksperymentalne.

Powyższa krytyka rzuca też pewne światło na kwestię reprezentacji. Podkreślałem, że dla entuzjasty modeli dynamicznych pojęcie reprezentacji jest wątpliwym dziedzictwem klasycznej kognitywistyki, które będzie stopniowo coraz mniej użyteczne z miarą rozwoju technik pozwalających na wgląd w ciągle procesy umysłowe. Lecz okazuje się, że probabilistyczne przestrzenie stanów dają wprawdzie subtelne narzędzie opisu procesów dynamicznych, lecz ich konstrukcja opiera się na potocznie rozumianych reprezentacjach. Są one mianowicie potrzebne do konstruowania wymiarów przestrzeni stanów – głównego narzędzia analizy w podejściu dynamicznym. Na problem można też spojrzeć z drugiej strony. Nawet jeśli przestrzeń stanów jest dobrze zdefiniowana i udaje się użyć jej do wyznaczenia trajektorii charakteryzującej dany proces umysłowy wciąż niejasny pozostaje status atraktorów tych trajektorii. Spivey uważa, że atraktory jako takie nie mają interpretacji fizycznej. Są tylko instrumentami analizy funkcji opisującej układ. Lecz jeśli konstrukcja całego modelu zależy od zwykłej reprezentacji świata w kategoriach przedmiotów i własności, to zachodzi podejrzenie, że również atraktory nie są pozbawione pewnej realistycznej interpretacji. Można też wyrazić się ostrożniej. Istnieją obok czysto wirtualnych pewne stabilizujące dynamikę systemu atraktory, które można traktować jako reprezentacje otoczenia. Pewną propozycję na temat pogodzenia modeli dynamicznych i reprezenta-

cyjnych przedstawia Joanna Rączaszek-Leonardi<sup>29</sup>. W jej ujęciu reprezentacje symboliczne służą jako ograniczenia (*constraints*) nałożone na zachowania. Nie zatrzymuję się tu dłużej nad uzasadnieniem tej propozycji, ponieważ dotyczy ona nie percepcji, lecz języka i wyprzedzałaby poza ramy tej pracy. Jedno spostrzeżenie wydaje się jednak istotne i ściśle wiąże się z moją wcześniejszą krytyką. Otóż jeśli reprezentacje mają ograniczać zachowania, to muszą posiadać moce przyczynowe<sup>30</sup>. Tymczasem w ujęciu Spivey'a są one czymś umownym, pomocniczym narzędziem opisu i żadnym mocy przyczynowych się im nie przypisuje. Uważam to za błąd – gdyby wszystkie elementy konstrukcji probabilistycznych przestrzeni stanów związane były funkcjami aproksymującymi wyniki empiryczne, to również atraktory miałyby pewne interpretacje empiryczne. Być może należałoby próbować negatywnej definicji reprezentacji jako zakazu zajmowania stanów obsadzonych już przez inne elementy otoczenia (przedmioty reprezentowane). W każdym razie możliwość pogodzenia modeli dynamicznych i pojęcia reprezentacji wydaje się, wbrew deklaracjom Spivey'a, otwarta.

## DYNAMIC MODELS OF MIND AND PERCEPTION

### Summary

The article discusses the main claims and assumptions of dynamic models of mind in order to form an opinion about their explanatory value. The main inspiration for this reflection is Michael Spivey's 2008 book 'The Continuity of Mind'. In the dynamic

---

<sup>29</sup> J. Rączaszek-Leonardi, J.A.S. Kelso, *Reconciling symbolic and dynamic aspects of language: Toward a dynamic psycholinguistic*, "New Ideas in Psychology" 26(2008), 193-207 oraz J. Rączaszek-Leonardi, *Symbol as constraints. The Structuring role of dynamics and self-organization in natural language*, "Pragmatics&Cognition" 17(2009)3, 653-676.

<sup>30</sup> Inaczej mówiąc, na pewnym poziomie opisu wyjaśnienie reprezentacji powinno się odwoływać do swoistych dla danego typu reprezentacji procesów przyczynowych, a nie tylko do funkcji bycia atraktorem w opisie zjawisk dynamicznych. Nie kłóci się to z korzyściami płynącymi z modeli dynamicznych, w których reprezentacje są tylko atraktorami. Chodzi o różne poziomy opisu i wyjaśnienia.

models, mental processes are represented as points and vectors in multidimensional state spaces. The generality of the models makes it possible to apply them to the neural populations in the brain or to the units of the mind, depending on the type of data processed. The points, vectors and trajectories represent probabilities of performing certain actions; perceiving, deciding to, or moving one's body. The dynamic models of the mind take issue with the idea of modularity of the mind and especially undermine the concept of mental representation including the perceptual one. The apparent representations are interpreted as attractors in a state space. Due to competing factors and constant inflows of new stimuli, the mind never reaches a stable state. The dynamic modeling consists in representing the passages from one probable state to another. Dynamic models seem to work well for some mental activities, especially in the domain of decision making or movement control. However, the explanations offered within this framework fail to account for the semantic properties of mental states, namely their relations to objects, states, processes, and facts in the environment. All these entities are valid only as sources of data for behavioral modification. The advantages and disadvantages of dynamic models are shown by focusing on a chosen phenomenon, namely a search in the visual realm for an object among distractors. The argument is put forward that the dynamic models cannot grasp some important features of this phenomenon, because they cannot be integrated into a single state space with other characteristics.

**Keywords:** dynamic models, simulation, visual search, saccadic movement, representation