

Lublin, 11 października 2016

Prof. dr hab. Piotr Francuz

Katedra Psychologii Eksperymentalnej KUL

Wpłynęło do Dziekanatu WZiKS
Dnia 20.10.2016
Podpis prof. Francuz

Recenzja pracy doktorskiej mgr Magdy Gawłowskiej, pt. *Behavioral and neural indicators of deterministic learning dynamics*, napisanej pod kierunkiem prof. dr hab. Tadeusza Marka

Doktorantka podejmuje w swojej pracy problem identyfikacji neuronalnych podstaw uczenia się (instrumentalnego, w szczególności deterministycznego) za pomocą metody potencjałów wywołanych EEG/ERP. Stawia fundamentalne pytania o funkcjonowanie jednego z najważniejszych mechanizmów adaptacyjnych człowieka – uczenia się w zmieniających się warunkach środowiska. Punktem wyjścia dla jej rozważań teoretycznych i badań własnych jest teoria uczenia się ze wzmocnieniem pożądanых (adaptacyjnych) zachowań oraz modele poznawcze i neuronalne mechanizmu monitorowania błędów, będącego jednym z kluczowych elementów procesu efektywnego uczenia się. Jego rolą jest zarówno identyfikacja błędnych reakcji, jak też ocena rozbieżności między aktualnym stanem organizmu a oczekiwanym, z punktu widzenia jego adaptacji do środowiska naturalnego, w którym funkcjonuje. Mechanizm monitorowania błędów, którego neuronalnym korelatem jest wczesny potencjał ERN, pełni funkcję systemu identyfikacji błędnej reakcji, zanim pojawi się odpowiedź zwrotna ze strony środowiska, zawierająca informację o jej negatywnych skutkach. Ponieważ sygnał o błędnej reakcji pojawia się niespełna 100 ms po jej egzekucji, dlatego jeszcze zanim zostanie ona uświadomiona lub do organizmu dotrze informacja zwrotna o błędzie, możliwa jest korekta zachowania, której neuronalnym korelatem jest potencjał FN, występujący ok. 300 ms po wykonaniu reakcji.

W części wprowadzającej Doktoranta w uporządkowany sposób wprowadza i definiuje podstawowe pojęcia z zakresu teorii uczenia się ze wzmocnieniem oraz kompetentnie prezentuje najważniejsze modele teoretyczne wyjaśniające mechanizm monitorowania błędów. Działanie każdego z tych modeli jest precyzyjnie wyjaśnione i zilustrowane czytelnymi rysunkami oraz poddane krytycznej analizie, poprzez wskazanie słabych punktów prezentowanej koncepcji monitorowania błędów. W trzeciej części Wprowadzenia Doktoranta dokonuje ważnego z punktu widzenia jej badań rozróżnienia na uczenie się probabilistyczne i deterministyczne. W największym skrócie, pierwszy rodzaj uczenia się przebiega w sytuacji uzyski-

wania nie-stuprocentowej informacji zwrotnej odnośnie do poprawności reakcji (co jest uzasadnione związkiem z naturalnymi sytuacjami życiowymi, w jakich nabywamy nowych sprawności), natomiast drugi rodzaj uczenia (deterministyczne) przebiega w warunkach stuprocentowej informacji zwrotnej, tzn. że każdej reakcji towarzyszy informacja zwrotna odnośnie do jej poprawności. Doktorantka jest bardziej zainteresowana tym drugim rodzajem uczenia się i jemu też poświęca swoje badania. Podsumowując, Wprowadzenie jest napisane prostym językiem, pozbawione zbędnych dygresji i wiarygodnie referuje stan badań w interesującym Doktorantkę zakresie.

Rozdział czwarty dysertacji Doktoranta otwiera przypomnieniem rozróżnienia dwóch rodzajów uczenia się ze wzmocnieniem: probabilistycznego i deterministycznego. Wskazuje również na najważniejsze powody, ze względu na które większość dotychczasowych badań nad uwarunkowaniami uczenia się było prowadzonych się w paradygmacie probabilistycznym. Sama jednak deklaruje większe zainteresowanie uczeniem się deterministycznym, choć nie całkiem jestem przekonany odnośnie do teoretycznej motywacji tego zainteresowania. Doktorantka stwierdza (s. 45), że wedle jej wiedzy nie ma badań eksplorujących to zagadnienie, ale czy jest to wystarczający powód teoretyczny, żeby się tym zajmować? Doktorantka wskazuje co prawda na kilka raportów z badań (e.g. Delgado et al., 2005; Mehta & Williams, 2002; Stürmer, Nigbur, Schacht, & Sommer, 2011; Van de Vijver et al., 2014), w których porównywano efekty uczenia się probabilistycznego i deterministycznego, ale tu pojawia się pewna wątpliwość, bowiem w cytowanych pracach albo niewiele mówi się wprost o uczeniu się deterministycznym, albo traktowane jest ono jako punkt odniesienia dla wyników w zakresie uczenia się probabilistycznego, a nie jako alternatywny sposób uczenia się.

Koncepcja uczenia się deterministycznego w oparciu o 100-procentową informację zwrotną w mniejszym stopniu angażuje uwagę i jest prostsze, niż probabilistyczne, tym niemniej rodzi wątpliwość czy można o nim mówić jako o uczeniu się w tym samym znaczeniu, jak w odniesieniu do uczenia się probabilistycznego. Powstaje bowiem pytanie, co dzieje się z osiągnięciami zyskanymi w procesie uczenia się metodą deterministyczną w momencie zaprzestania podawania informacji zwrotnej. Otóż wiele wskazuje na to, że największą słabością tego paradygmatu (oprócz niewielkich walorów ekologicznych) jest bardzo mała odporność na wygaszanie reakcji w następstwie utraty informacji zwrotnej, która dotąd była zawsze podawana. Dlaczego? Właśnie z powodu stale podawanego „z zewnątrz” i w związku z tym niekoniecznie zinternalizowanego systemu kryteriów odnośnie do poprawności reakcji. Innymi słowy, powstaje pytanie czy w tym paradygmacie jest jeszcze miejsce na oczekiwania organizmu odnośnie do poprawności własnych zachowań, czy tylko dopasowanie ich do ze-

wewnętrznych kryteriów? W tym kontekście, zamiast o uczeniu się deterministycznym możemy równie dobrze myśleć, jako o mechanicznej, zewnątrzsterownej reaktywności na bodziec. Aż trudno oprzeć się wrażeniu, że mamy wówczas do czynienia raczej z maszyną, której działanie jest w stu procentach zalgorytmizowane, niż z układem biologicznym naturalnie funkcjonującym stale w warunkach niepewności. Nawiasem mówiąc, pojęcie uczenia się ze wzmocnieniem (reinforcement learning) zostało zaadoptowane w obszarze uczenia się maszynowego i oznacza technikę programistyczną, której celem jest maksymalizacja zysku (nagrody) w określonym środowisku działania urządzenia.

Tę kwestię podnoszę oczywiście jako dyskusyjną, ponieważ pomimo profesjonalnego przedstawienia koncepcji dotyczących uczenia się mam wrażenie, że nieco przemilczanym przez Doktorantkę, acz istotnym elementem ogólnej definicji uczenia się jest sugestia, iż efekty tego procesu, wyrażające się we względnej zmianie zachowania, są zinternalizowane w tym sensie, że w sytuacji gdy po przerwie ponownie pojawi się bodziec, na który uprzednio była wyuczona reakcja, wówczas nie jest już wymagana informacja zwrotna, żeby reakcja przebiegła prawidłowo. Obawiam się, że nie można tego powiedzieć o uczeniu się deterministycznym. Nawiasem mówiąc Doktorantka zdaje się być świadoma tych trudności, gdy zwraca uwagę na to, że ze względu na podstawowe różnice między uczeniem się probabilistycznym i deterministycznym w odniesieniu do funkcji informacji zwrotnej nie można rozszerzyć teorii opartych na uczeniu się probabilistycznym na uczenie się deterministyczne (s. 44). Wobec tego otwarte pozostaje pytanie o teoretyczną motywację co najmniej dwóch, z trzech własnych hipotez badawczych ponieważ, pomimo stwierdzenia zasadniczych różnic między uczeniem się probabilistycznym i deterministycznym Doktorantka formułuje je w terminach koncepcji uczenia się probabilistycznego ze wzmocnieniem, a ściślej mechanizmu monitorowania błędów, odwołując się do potencjałów ERN i FN.

W rozdziale 5. Doktorantka prezentuje metodę badań własnych. Opis materiału bodźcowego, procedury i osób badanych zostały przedstawione zgodnie ze sztuką. Wszystkie elementy składowe niezbędne do ewentualnej replikacji badania zostały poprawnie przedstawione. W kontekście wcześniejszych uwag dotyczących uczenia się w warunkach w pełni zdezeterminowanych zastanowiła mnie procedura ekspozycji informacji zwrotnej. Po badaniach pilotażowych okazało się, że podawanie informacji zwrotnej po każdej reakcji paradoksalnie utrudniało a nie torowało uczenie się kojarzenia par ilustracji. W związku z tym w eksperymencie Doktorantka prezentowała tylko informację zwrotną jednego typu w bloku, np. tylko „poprawne” w odniesieniu do poprawnego skojarzenia. Ponieważ ten schemat był wykony-

wany zawsze, dlatego można odnieść wrażenie, że mamy do czynienia z sytuacją uczenia się w warunku w pełni zdeterminowanym.

Moja wątpliwość dotyczy statusu braku informacji zwrotnej o błędnej reakcji w bloku, w którym podawano tylko informację o poprawnej reakcji. Innymi słowy, czy możemy być pewni, że brak informacji zwrotnej był traktowany przez badanych jako alternatywa dla *explicite* podanej, czy też jako źródło niepewności odnośnie do jej poprawności. Jeśli zachodziłby pierwszy przypadek, wówczas trudno byłoby wyjaśnić brak postępów w uczeniu się skojarzeń w sytuacji podawania *explicite* informacji zarówno o poprawnej, jak i błędnej reakcji (przypadek z badania pilotażowego), skoro z jedną informacją podaną *explicite* i z drugą, jednoznacznie opozycyjną „w domyśle”, jednak uczenie się było możliwe. Jeśli zachodziłby z kolei drugi przypadek, wówczas mielibyśmy do czynienia z sytuacją, która zbliżałaby nas do myślenia o wykonywanym zadaniu w eksperymencie w terminach uczenia się probabilistycznego, ponieważ brak informacji zwrotnej i związana z tym niepewność odnośnie do poprawności własnej reakcji jest właśnie znakiem firmowym uczenia się probabilistycznego, a nie deterministycznego.

Analiza danych behawioralnych i neurologicznych nie budzi żadnych zastrzeżeń. Doktorantka, zastosowała tradycyjne modele analizy wariancji z powtarzanymi pomiarami w zakresie, co najmniej dwóch zmiennych oraz testy post hoc. W analizach danych behawioralnych zmiennymi zależnymi były: poprawność asocjacji i czas reakcji oraz wskaźniki d' (z teorii detekcji sygnałów) i P_n (z koncepcji PADL), jako miary uczenia się. W analizach sygnału ERP, po przeprowadzeniu ICA i odrzuceniu danych z ostatniego, piątego etapu uczenia się ze względu na niewystarczającą liczbę błędnych reakcji, do ANOVA wprowadzono wartości amplitudy komponentów ERN i FN z odprowadzeń przyśrodkowych, czołowych i centralnych (FCz), w oknach, odpowiednio, 0-150 ms i 250-350 ms.

Wyniki poprawności uczenia się wskazują na to, że zadanie jakie otrzymały osoby badane było raczej proste (ponad 95% poprawnych odpowiedzi). Czy nie lepiej było zachować odrzuconą po pilotażu procedurę z informacją zwrotną dla wszystkich reakcji? Casy reakcji także wskazują na bardzo szybki progres w uczeniu się asocjacji między bodźcami. Doktorantka nie stwierdziła natomiast wpływu zmiennej wzmocnień na te zmienne behawioralne. Jeszcze wyraźniejsze efekty uzyskała natomiast w odniesieniu do dwóch miar progresu uczenia się (d' i P_n), tym razem ze względu na wszystkie zmienne niezależne, włączone do modelu. Interesujące wyniki uzyskała Doktorantka w analizach potencjałów. Przede wszystkim zareplikowała dotychczasowe doniesienia dotyczące różnic w zakresie amplitud w odpowiedzi na poprawne i błędne reakcje, czyli dotyczące komponentu ERN. Ponadto pokazała istot-

ny wpływ pozostałych trzech zmiennych niezależnych: wzmocnienia, feedbacku oraz dynamiki zmian w czterech fazach procesu uczenia się, na zróżnicowanie amplitud w oknie 0-150 ms. Również w odniesieniu do komponentu FN uzyskała kilka interesujących efektów zróżnicowania uśrednionych wielkości amplitud w oknie 250-350 ms.

Dyskusja wyników została podzielona na trzy części dotyczące: wyników analiz danych behawioralnych, neurologicznych oraz ogólnego podsumowania. Po zapoznaniu się z dyskusją dotyczącą ciekawych, chociaż dość przewidywalnych wyników analiz behawioralnych z zainteresowaniem przeczytałem dyskusję dotyczącą wyników EEG, ponieważ właśnie te dane w wyraźniejszym stopniu ujawniały (lub mogły ujawnić, w zależności od interpretacji) specyfikę różnicy między uczeniem się probabilistycznym i deterministycznym. Doktorantka bardzo zręcznie podkreśla te efekty, które wskazują na inną dynamikę obu procesów uczenia. Oczywiście, uzyskane dane nie rozstrzygają ostatecznie kwestii teoretyczno-poznawczych w zakresie traktowania przyjętego w pracy paradygmatu badawczego, jako operacjonalizacji uczenia się deterministycznego, ale niewątpliwie pokazują różnice w stosunku do efektów uzyskiwanych w poprzednich badaniach. Tak czy inaczej, dyskusja wyników badań własnych, włącznie z ogólnym podsumowaniem jest przeprowadzona czytelnie i przekonująco. Doktorantka ze swobodą i kompetentnie zestawia ze sobą wyniki badań, które zainspirowały ją do przeprowadzenia własnego eksperymentu, wyciąga prawidłowe wnioski i proponuje własne rozstrzygnięcia teoretyczne. Tę część pracy oceniam bardzo wysoko. Uważam, że niniejsza praca wskazuje na osobę o dużej kulturze i świadomości metodologicznej. Na wysoką ocenę zasługuje także perfekcyjny styl narracji naukowej i język, jakim posługuje się Doktorantka.

Podsumowując recenzję niniejszej pracy stwierdzam, że mgr Magda Gawłowska prezentuje ponadprzeciętny poziom wiedzy teoretycznej w zakresie neuronauki poznawczej, a w szczególności odnoszącej się do teorii uczenia się i elektroencefalografii. Stwierdzam również, że na bardzo dobrym poziomie Doktorantka zademonstrowała umiejętność samodzielnego prowadzenia badań eksperymentalnych, a w tym operacjonalizacji zmiennych, opracowania bodźców i procedur oraz poprawnej i pogłębionej analizy i interpretacji wyników badań. Niewątpliwie Doktorantka podjęła oryginalną próbę weryfikacji zastanej teorii naukowej i próbę tę oceniam pozytywnie. Zatem, uważam, że dysertacja przygotowana przez mgr. Magdę Gawłowską spełnia ustawowe i akademickie wymagania stawiane rozprawom doktorskim i wnoszę o jej dopuszczenie do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

/Piotr Francuz/
