

Warszawa, 17 listopada 2022

dr hab. Łukasz Dębowski  
Instytut Podstaw Informatyki PAN  
ul. Jana Kazimierza 5  
01-248 Warszawa  
ldebowsk@ipipan.waw.pl

## **RECENZJA**

wniosku w postępowaniu o nadanie

**dr Agnieszce Pręgowskiej**

stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk  
inżynieryjno-technicznych  
w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja

### **1 Podstawa sporządzenia recenzji**

Niniejsza recenzja została sporządzona w związku z postępowaniem habilitacyjnym dr Agnieszki Pręgowskiej prowadzonym w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk w Warszawie, w którym zostałem powołany w charakterze recenzenta decyzją Rady Doskonałości Naukowej z dnia 13 października 2022 r.

### **2 Przesłanka posiadania stopnia doktora**

Podstawa prawna:

art. 219 ust. 1 pkt. 1 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

Dnia 27 czerwca 2013 r., mgr inż. Agnieszka Pręgowska obroniła rozprawę doktorską „Półaktywne sterowanie układami mechanicznymi drgającymi skrętnie” w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk. Jej promotorem był prof. dr hab. inż. Tadeusz Szolc. Spełniona jest zatem pierwsza przesłanka do nadania stopnia doktora habilitowanego.

### **3 Ocena osiągnięcia naukowego**

Podstawa prawna:

art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

#### **3.1 Temat i publikacje wchodzące w skład osiągnięcia**

Jako osiągnięcie naukowe dr Agnieszka Pręgowska przedstawiła cykl pięciu artykułów samodzielnych lub we współautorstwie zatytułowany „Zastosowanie teorii informacji w neuroinformatyce. Analiza efektywności transmisji. Wyzwania związane z kodowaniem neuronowym.” Publikacje wchodzące

w skład tego cyklu są następujące (w nawiasach podano udziały współautorów):

- A1** A. Pręgowska (65%), J. Szczepański (20%), E. Wajnryb (15%). Mutual information against correlations in binary communication channels. BMC Neuroscience BioMedCentral, vol. 16 no. 32, pp. 1–7, 2015.
- A2** A. Pręgowska (70%), J. Szczepański (15%), E. Wajnryb (15%). Temporal code versus rate code for binary Information Sources. Neurocomputing, Elsevier, vol. 216, pp. 756–762, 2016.
- A3** A. Pręgowska (75%), E. Kaplan (10%), J. Szczepański (15%). How far can neural correlations reduce uncertainty? Comparison of information transmission rates for Markov and Bernoulli processes. International Journal of Neural Systems, World Scientific Publishing, vol. 29, no. 8, pp. 1950003–1–13, 2019.
- A4** A. Pręgowska (100%). Signal fluctuations and the information transmission rates in binary communication channels. Entropy, vol. 23, no. 1, pp. 92–1–12, 2021.
- A5** A. Pręgowska (60%), A. Casti (10%), E. Kaplan (10%), E. Wajnryb (10%), J. Szczepański (10%). Information processing in the LGN: a comparison of neural codes and cell types. Biological Cybernetics, Springer, vol. 113, no. 4, pp. 453–464, 2019.

Stwierdzam, że przedstawiony cykl publikacji konsekwentnie dotyczy deklarowanego tematu, czyli zastosowań teorii informacji w neuroinformatyce. Wszystkie prace wchodzące w cykl ukazały się po doktoracie. Cykl obejmuje jedną pracę samodzielną i cztery prace we współautorstwie, gdzie udział Habilitantki w każdej z nich przekracza 50%. Trzy prace zostały opublikowane w czasopismach ściśle poświęconym neurobiologii, w tym dwie w czasopismach o współczynniku Impact Factor przekraczającym 5.0. Pozostałe trzy prace opublikowano w czasopismach o Impact Factor przekraczającym 2.0. Nie jest to zatem cykl publikacji bardzo długi, ale można domniemywać, że prace te przeszły przez skrupulatny proces recenzji w redakcjach prestiżowych czasopism.

### **3.2 Posumowanie osiągnięcia naukowego**

Neuroinformatyka to gałąź nauki na pograniczu informatyki i neurobiologii badająca kodowanie i przetwarzanie informacji przez pojedyncze neurony oraz ich sieci. Rozróżnić tutaj należy dwa przeciwstawne podejścia: (1) badanie wielkich sztucznych sieci neuronowych, o radykalnie uproszczonym modelu pojedynczego neuronu, dynamicznie rozwijane obecnie w sztucznej inteligencji i maszynowym uczeniu; (2) badanie własności pojedynczych neuronów biologicznych lub ich niewielkich zespołów. Słowo „neuroinformatyka”

oznacza ten drugi nurt badań, w który to wpisują się prace Habilitantki. Ponieważ badania w zakresie neuroinformatyki w twórczy sposób wykorzystują pojęcia i narzędzia informatyczne, to sądzę, że prace z tego nurtu można zaliczać formalnie do dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja. Ewentualne wątpliwości w tej kwestii rozstrzygałbym na korzyść osoby składającej wniosek, gdyż moim zdaniem interdyscyplinarność badań powinno się doceniać.

O ile dobrze orientuję się w teorii informacji i nieco słabiej w postępach sztucznych sieci neuronowych, o tyle trochę brakuje mi wiedzy w zakresie neuronów biologicznych, aby w pełni rozumieć aktualne wyzwania związane z ich badaniem. Jako specjalista od teorii informacji mogę powiedzieć, że prace Habilitantki w zakresie mi bliskim mają charakter aplikacyjny, a fakty matematyczne dyskutowane w teoretycznych częściach jej prac są stosunkowo proste. Z tego punktu widzenia sądzę, że szczególny nacisk w ocenie znaczenia wkładu osiągnięcia naukowego Habilitantki w rozwój dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja należy położyć na wyzwania analizy danych pochodzenia biologicznego i w tym kontekście oceniać jej wyniki.

Analiza sygnałów generowanych przez biologiczne neurony wydaje się trudna, o czym świadczy fakt, że pomimo kilkudziesięciu lat badań nadal nieznane pozostają odpowiedzi na dość podstawowe pytania. Generalnie zakłada się, że istnieje pewien kod neuronowy, czyli rodzaj stochastycznej funkcji pomiędzy wejściem a wyjściem pojedynczego neuronu. Trudność w zrozumieniu kodu neuronowego polega na tym, że sygnały wejściowy i wyjściowy są procesami o wartościach binarnych i czasie rzeczywistym, ale ten sam bodziec niekoniecznie wywołuje identyczną odpowiedź w ustalonym oknie czasowym. Neuron jest zatem układem z pewną pamięcią oraz szumem losowym. Jak dotychczas nie rozstrzygnięto także, czy kod neuronowy operuje na częstościach pomiędzy wzbudzeniami neuronu (rate code), czy też jest to kod czasowy (temporal code). Należy też podkreślić, że różne neurony mogą realizować różne kody neuronowe w zależności od warunków ich pracy, co między innymi Habilitantka wykazuje w omawianej dalej pracy **A5**.

Z tej perspektywy ważne jest eksplorowanie zależności pomiędzy różnymi lokalnymi statystykami szeregów czasowych generowanych przez biologiczne neurony. Najważniejsze spośród tych statystyk to: tempo przesyłania informacji (ITR — information transmission rate, w teorii informacji częściej jest używany synonim: entropy rate — intensywność entropii), częstość występowania potencjałów czynnościowych (FR — firing rate), a także miary korelacji i zależności takie jak współczynnik Pearsona i informacja wzajemna pomiędzy bodźcem a odpowiedzią neuronu. W publikacjach przedstawionych jako osiągnięcie naukowe Habilitantka skupia się głównie na analizie teoretycznej i częściowo eksperymentalnej zależności pomiędzy takimi lokalnymi statystykami. Z tego punktu widzenia wkład dr Agnieszki Pręgoskiej w neuroinformatykę kwalifikuje się bardziej jako informatyka techniczna niż neurobiologia.

Zawartość i znaczenie publikacji tworzących osiągnięcie naukowe dr Agnieszki Pręgowskiej są następujące:

- A1** Praca poświęcona jest wykazaniu, że dla binarnych kanałów komunikacyjnych informacja wzajemna między wejściem a wyjściem zachowuje się ilościowo i jakościowo inaczej niż współczynnik korelacji liniowej. Wykazano przy okazji, że nieskorelowane binarne zmienne losowe są niezależne, a zatem zerowanie się współczynnika korelacji w tym przypadku równoważne jest zerowaniu się informacji wzajemnej — co akurat jest faktem stanowiącym folklor w rachunku prawdopodobieństwa.
- A2** Praca postuluje, że w neuronach biologicznych powinna być maksymalizowana transmisja informacji w stosunku do kosztu energetycznego tej transmisji, czyli maksymalny powinien być iloraz intensywności entropii ITR i częstości występowania potencjałów czynnościowych FR. Jest to moim zdaniem bardzo ciekawa i ważka idea — inspirująca dalsze prace Habilitantki — i prowadzi ona do nietrywialnych wniosków odnośnie postaci kodu neuronowego. W istocie w pracy **A2** wykazano, że dla niektórych procesów Markowa pierwszego rzędu, optimum ilorazu ITR/FR osiągane jest dla częstości potencjałów FR różnej od wartości brzegowych 0 i 1. Obserwacja ta jest bardzo interesująca, jednak pozostawia pewien niedosyt i budzi dalsze pytania: Co dzieje się w przypadku globalnej optymalizacji ilorazu ITR/FR dla źródeł o dowolnej pamięci? Czy sam warunek maksymalizacji ilorazu ITR/FR wymusza złożoność kodu neuronowego? Jak złożony obliczeniowo i pamięciowo może być rzeczywisty kod neuronowy?
- A3** Praca drąży dalej temat pracy **A2**. Celem jest pokazanie warunków, przy których kod czasowy (temporal code) jest bardziej opłacalny energetycznie niż kod częstościowy (rate code). Rozważania prowadzone są na przykładzie binarnych procesów Bernoulliego i Markowa pierwszego rzędu. Praca ta też ma charakter teoretyczny w tym sensie, że dyskutowane są głównie proste modele matematyczne, a nie rzeczywiste dane biologiczne. W pracy argumentuje się także, że złożoność zjawisk teoretycznych może pomóc w wyjaśnieniu, dlaczego biologiczne neurony mogą stosować zarówno kod czasowy jak też częstościowy. Mianowicie w różnych sytuacjach korzystniejszy od strony energetycznej może być bądź to kod częstościowy, bądź to kod czasowy.
- A4** Ta praca jest samodzielną pracą Habilitantki. W pracy przeanalizowano zależność między intensywnością entropii ITR a odchyleniem standardowym binarnego procesu Markowa. Podano ograniczenie obustronne ITR w terminach tego odchylenia standardowego. Praca ta jest ciekawa od strony matematycznej, ale niezbyt dobrze zrozumiałem jej motywację neurobiologiczną.

**A5** Praca analizuje rzeczywiste dane biologiczne dotyczące neuronów zlokalizowanych w ciele kolankowatym bocznym. Wykazano, że komórki typu X-ON stosują bardziej wydajny kod czasowy (temporal code), natomiast komórki typu X-OFF stosują bardziej niezawodny kod częstościowy (rate code). Praca ta zatem przerzuca bardzo pożądaną postać pomiędzy wcześniejszymi wynikami teoretycznymi Habilitantki a danymi eksperymentalnymi. — Warto tutaj zauważyć, że stosowany estymator ITR z pracy Strong et al. (1998), nazywany Direct Method, jest nieobciążony tylko dla entropii blokowej  $H(Z^L)$  rosnącej ściśle liniowo, czyli w przybliżeniu dla źródeł informacji o zależności krótkiego zasięgu. Źródła takie należy odróżnić od źródeł o nieskończonej entropii nadwyżkowej takich, jak prawdopodobnie język naturalny (Hilberg 1990, Crutchfield i Feldman 2003). Wszakże w pracy **A5** badana jest zmienność estymatorów ITR w czasie, mierzona w przesuwającym się oknie. Zatem nie chodzi tutaj o ściśle graniczną wartość współczynnika ITR, lecz o jego lokalne oszacowania, które mają większą wartość dla zrozumienia przetwarzania informacji przez neurony.

Patrząc na osiągnięcie Habilitantki z innej perspektywy — perspektywy sztucznej inteligencji, mógłbym zaproponować, by do problemów neuroinformatyki zaprząć maszynowe uczenie. Na przykład w celu poznania kodu neuronowego można by wytrenować sztuczną sieć neuronowej symulującą działanie pojedynczego neuronu. Z kwerendy internetowej zorientowałem się, że prace tego typu są prowadzone i osiągnięto na tym polu istotne sukcesy, np. Beniaguev, Segev i London (2021). W dalszej kolejności, mając taki sztuczny model biologicznego neuronu, kod neuronowy można by badać metodami explainable AI, aby zrozumieć jego działanie. Przypuszczam, że prowadzenie dalszych prac w tym kierunku w przyszłości byłoby owocne.

Moje powyższe uwagi nie umniejszają jednak ogólnie pozytywnej oceny znaczenia wkładu Habilitantki w rozwój uprawianej przez nią neuroinformatyki, który to nurt badań zaliczyłbym do szeroko rozumianej informatyki technicznej. Sądzę, że dr Agnieszka Pręgowska sprawnie łączy analizy teoretyczne z analizą danych eksperymentalnych. Postuluje ona hipotezy badawcze takie jak maksymalizacja ilorazu ITR/FR, które są nowatorskie w jej nurcie badań, ważne i intuicyjne, a zarazem możliwe do eksploracji teoretycznej i weryfikacji eksperymentalnej. Uważam zatem, że osiągnięcie naukowe dr Agnieszki Pręgowskiej stanowi **znaczny** wkład w rozwój dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacji.

## 4 Ocena aktywności naukowej

Podstawa prawna:

art. 219 ust. 1 pkt. 3 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

#### **4.1 Dorobek publikacyjny**

Większość dorobku publikacyjnego dr Agnieszki Pręgowskiej — oprócz omówionego już osiągnięcia naukowego — dotyczy konstrukcji i poprawy klasyfikatorów sygnałów biomedycznych. Celem tej klasyfikacji jest wspomoczenie wczesnej diagnostyki chorób. Prace te dotyczą także zastosowań pojęć teorii informacji i statystyki. Zawierają one zatem pierwiastek informatyki technicznej. Po odjęciu pięciu publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe, dorobek obejmuje 12 artykułów w czasopismach z listy JCR — z czego pięć w czasopismach klasyfikowanych jako informatyka techniczna i telekomunikacja, jedną monografię we współautorstwie, dwa rozdziały, osiem artykułów w czasopismach spoza listy JCR, sześć artykułów konferencyjnych, 11 abstraktów konferencyjnych, 13 innych wystąpień konferencyjnych. Są to statystyki moim zdaniem akceptowalne do uznania istotnego dorobku w zakresie wnioskowanej dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja. Prace te powstawały zwykle w merytorycznie uzasadnionym interdyscyplinarnością współautorstwie, co też należy docenić.

#### **4.2 Rozpoznawalność w środowisku naukowym**

Pewną miarą rozpoznawalności i uznania naukowca w środowisku są cytowania. Prace dr Agnieszki Pręgowskiej cytowane były 367 razy według Google Scholar, 186 razy według Web of Science oraz 269 razy według ResearchGate. Jej indeks Hirscha wynosi 11 według Google Scholar, 9 według Web of Science oraz 9 bez autocytowań według ResearchGate. Jej prace były rekomendowane 47 razy na ResearchGate. Dr Agnieszka Pręgowska jest autorką 99 recenzji według Web of Science (dane z wchłoniętego serwisu Publons). Wskaźniki bibliometryczne Habilitantki przedstawiają się zatem rozsądnie.

#### **4.3 Udział w projektach badawczych**

Dr Agnieszka Pręgowska była wykonawcą w licznych projektach finansowanych przez Uniwersytecki Ośrodek Transferu Technologii Uniwersytetu Warszawskiego, Ośrodek Transferu Technologii Politechniki Świętokrzyskiej, Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, Fundację na Rzecz Nauki Polskiej, European Molecular Biology Organisation, Narodowe Centrum Nauki (NCN). Kierowała także jednym projektem finansowanym przez NCN. Patrząc z mojej perspektywy uważam, że są to dobre osiągnięcia.

#### **4.4 Współpraca krajowa i międzynarodowa**

W ramach współpracy międzynarodowej dr Agnieszka Pręgowska współpracowała z dr. Peterem van Damem z firmy PEACS BV (Holandia), z prof. Ehudem Kaplanem z Icahn Mount Sinai School of Medicine (USA), z dr. Alexem Castim z Fairleigh Dickinson University (USA), z prof. Marią Victorią Sanchez-Vives z IDIBAPS (Hiszpania). W ramach współpracy krajowej

Habilitationka pracowała z prof. Dariuszem Dudkiem, zespołem dr inż. Klaudii Proniewskiej z Collegium Medicum Uniwersytetu Jagiellońskiego, z dr Bartoszem Paprockim z Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego, z dr Marzeną Ciechomską z Narodowego Instytutu Geriatrii, Reumatologii i Rehabilitacji, z mgr Adria-Jaume Roura Canalda z grupy Bożeny Kamińskiej-Kaczmarek z Instytutu Biologii Doświadczalnej im. M. Nenckiego PAN, z dr Magdaleną Garlińską z Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, dr Izabelą Gutowską z Radiation Center, School of Nuclear Science and Engineering, Oregon State University (USA) oraz dr Magdaleną Osiał z Wydziału Chemii Uniwersytetu Warszawskiego a także z zespołem dr inż. Krzysztofa Falkowskiego z Wydziału Mechatroniki i Lotnictwa Wojskowej Akademii Technicznej. Efektem tej rozległej sieci współpracy są liczne publikacje. Sądzę, że i ten wymiar aktywności naukowej należy ocenić pozytywnie.

#### **4.5 Dorobek dydaktyczny i popularyzatorski**

Dr Agnieszka Pręgowska była opiekunem trzech projektów w ramach programu „Ochota na Naukę” oraz w ramach konkursu „E(x)plory”. Prowadziła też warsztaty w projekcie Erasmus PLUS Wydziału Chemii Uniwersytetu Warszawskiego. Wymienione osiągnięcia dydaktyczne Habilitationki są ściśle powiązane z omawianymi dalej osiągnięciami popularyzatorskimi. Dorobek popularyzatorski dr Agnieszki Pręgowskiej jest znaczny i znaczący. Składa się nań 101 artykułów popularnonaukowych — opublikowanych we współautorstwie, ale i tak jest to liczba imponująca. Po doktoracie Habilitationka współzакładała z dr Magdaleną Osiał organizację Science Embassy, pod której auspicjami publikowała wspomniane artykuły popularnonaukowe. Poza tym dr Agnieszka Pręgowska współpracuje z Manufakturą Naukowców Uniwersytetu Każdego Wieku i bierze czynny udział we Frontiers Forum Speaker Series. Sądzę, że ta niezwykle aktywność popularyzatorska Habilitationki w zupełności kompensuje jej stosunkowo niewielkie doświadczenie w pracy dydaktycznej ze studentami.

#### **4.6 Pozostałe wymiary aktywności**

Dr Agnieszka Pręgowska uzyskała we współautorstwie dwa patenty i zgłosiła dwa dalsze. Habilitationka jest członkiem pięciu towarzystw krajowych, w tym The Association of TOP 500 Innovators. Była regionalnym dyrektorem warszawskiego oddziału Innovation Forum Kraków. Pracowała jako ekspert dla dziewięciu instytucji. Recenzowała artykuły w 13 czasopismach naukowych. Redagowała numery specjalne w pięciu czasopismach. Była organizatorem międzynarodowej konferencji 40th Solid Mechanics Conference, SOLMECH 2016. Jest laureatką liczącego się konkursu MNiSW TOP 500 INNOVATORS. Habilitationka odbyła prestiżowy trzymiesięczny staż w zarządzaniu i komercjalizacji wyników badań na Uniwersytecie Cambridge i Uniwersytecie

Oxford. W mojej ocenie są to bardzo cenne przejawy aktywności naukowej, zwłaszcza w zakresie nauk technicznych.

#### 4.7 Podsumowanie aktywności naukowej

Dr Agnieszka Pręgowska, pomimo stałego zatrudnienia wyłącznie w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk, rozwijała intensywną naukową współpracę krajową i międzynarodową. Jej osiowym zainteresowaniem były neuroinformatyka oraz postępy diagnostyki biomedycznej. Jej osiągnięcie naukowe i pewną część dorobku publikacyjnego można formalnie zakwalifikować jako leżące w zakresie dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja. Działalność dydaktyczną dr Agnieszka Pręgowska realizowała w ścisłym powiązaniu z niezwykle intensywną działalnością popularyzatorską. W wymiarze nauk technicznych należy szczególnie docenić jej patenty i zgłoszenia patentowe oraz członkostwo w TOP 500 INNOVATORS. W rezultacie uważam, że aktywność naukowa dr Agnieszki Pręgowskiej była **istotna** i realizowana w **więcej niż jednej** uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury. Jeżeli można mieć uwagę krytyczną, to zauważyłem brak dłuższego wyjazdu na staż podoktorski za granicą w curriculum vitae — oprócz bardzo wartościowego trzymiesięcznego stażu dotyczącego komercjalizacji badań na Uniwersytecie Cambridge i Uniwersytecie Oxford. Ta uwaga nie przeczy jednak temu, że moim zdaniem wymagania ustawowe w zakresie istotnej aktywności naukowej są spełnione.

### 5 Konkluzja recenzji

W podsumowaniu niniejszej recenzji stwierdzam, że:

- osiągnięcie naukowe dr Agnieszki Pręgowskiej w postaci cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych stanowi **znaczny** wkład w rozwój dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja;
- aktywność naukowa dr Agnieszki Pręgowskiej jest **istotna** i realizowana w **więcej niż jednej** uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

Moja ocena Habilitantki jest pozytywna i wnioskuję do Rady Naukowej Instytutu Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk o dopuszczenie dr Agnieszki Pręgowskiej do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.