

Wrocław, 15 stycznia 2024 r.

Prof. dr hab. inż. Michał Woźniak
Wydział Informatyki i Telekomunikacji
Politechnika Wrocławska

RECENZJA
dotycząca wniosku o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie
nauk inżyniersko-technicznych w dyscyplinie informatyka techniczna i
telekomunikacja drowi Łukaszowi STRUSKIEMU

Tytuł osiągnięcia naukowego: *Płytkie i głębokie modele uczenia maszynowego w eksploracji i interpretacji danych*

Recenzja przygotowana została w ramach przewodu habilitacyjnego prowadzonego przez Radę Naukową Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Uniwersytetu Jagiellońskiego, na podstawie pisma Przewodniczącego wspomnianej Rady prof. dr hab. inż. Macieja Ogorzałka, z dnia 21 listopada 2023 r.

Przedmiotem recenzji jest cykl publikacji naukowych oraz dorobek naukowy, dydaktyczny i organizacyjny dra Łukasza Struskiego, pracownika Wydziału Matematyki i Informatyki Uniwersytetu Jagiellońskiego. Oceniany dorobek mieści się w dziedzinie nauk inżyniersko-technicznych w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja, zatem jego obszar tematyczny jest obszarem kompetencji i aktywności Rady Naukowej Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Uniwersytetu Jagiellońskiego.

Ocenę osiągnięć dra Łukasza Struskiego dokonano zgodnie z art. 219 Ustawy *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* z dnia 20 lipca 2018 r. (Dz. U. z 2018 r., poz. 1668 z późniejszymi zmianami), który określa warunki nadania stopnia doktora habilitowanego. Ponadto w recenzji dokonano oceny zgodnie z nieuregulowanymi formalnie, jak i przyjętymi zwyczajowo w polskim środowisku, wymaganiami.

1 Sylwetka habilitanta

Dr Łukasz Struski uzyskał stopień magistra matematyki w 2009 r., a następnie *w 2012 r.) magistra informatyki na Wydziale Matematyki i Informatyki Uniwersytetu Jagiellońskiego. W 2014 r. uzyskał stopień doktora nauk matematycznych w dyscyplinie informatyka na tej samej uczelni. Podstawą nadania stopnia była rozprawa pt. *Numeryczne zastosowania uogólnionych pól stożkowych*, napisana pod kierunkiem prof. Jacka Tabora.

W 2013 r. habilitant rozpoczął pracę na stanowisku asystenta na Wydziale Informatyki Elektroniki i Telekomunikacji Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie oraz także jako asystent na Wydziale Matematyki i Informatyki Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie. Po uzyskaniu stopnia doktora został zatrudniony na stanowisku adiunkta na Wydziale Matematyki i Informatyki Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie, gdzie pracuje do tej pory.

Zainteresowania naukowe habilitanta koncentrują się głównie na zagadnieniach związanych z uczeniem maszynowym, w tym problemach eksploracji danych, wyjaśnialności, detekcji anomalii, analizy danych niekompletnych, redukcji wielowymiarowości i klasteryzacji.

2 Ocena osiągnięć naukowo-badawczych

2.1 Ocena cyklu publikacji

Jako cykl publikacji zatytułowany *Płytkie i głębokie modele uczenia maszynowego w eksploracji i interpretacji danych* habilitant przedstawił 9 publikacji opublikowanych w latach 2018-2023. Wśród publikacji znajdują się pięć prac opublikowanych w prestiżowych czasopismach indeksowanych przez JCR (*Information Sciences*, takich jak *Pattern Recognition Letters*, *Journal of Classification*, *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems* oraz *Computer Vision and Image Understanding*, a także trzy publikacje w materiałach konferencji naukowych indeksowanych w CORE, takich jak *WACV* (rank A), *ECCV* (rank A*), *AISTATS* (rank A) oraz *ICONIP* (rank A). Wszystkie publikacje są wieloautorskie. Do wszystkich artykułów załączono deklarację współautorów, którzy określili swój udział w powstaniu wspomnianych publikacji oraz deklarację z oszacowaniem swojego udziału w poszczególnych pracach, a także opisem wykonanych przez siebie zadań. Na podstawie analizy dostarczonych deklaracji uważam, że udział dra Struskiego został oszacowany rzetelnie. Habilitant jest pierwszym autorem, siedmiu publikacji a na podstawie analizy oświadczeń współautorów, wkład dra Struskiego we wszystkie prace jest albo dominujący, albo znaczący.

Cykl publikacji koncentruje się na trzech obszarach tematycznych związanych z uczeniem maszyn:

- Klasteryzacja danych oraz reprezentacja danych niekompletnych.
- Modele generatywne.
- Interpretowalność modeli.

W ramach pierwszego obszaru, związanego z grupowaniem oraz danymi niekompletnymi:

1. Zaproponowano algorytm grupowania podprzestrzeni SuMC (*Subspace Memory Clustering*) bazujący na teorii informacji i kompresji stratnej, który samodzielnie określa liczbę klastrów i ich rozmiar. Wyniki przedstawiono w pracy:

Łukasz Struski, Jacek Tabor, Przemysław Spurek, Lossy compression approach to subspace clustering, *Information Sciences* (435), p. 161-183, 2018.

2. Opracowano algorytm klastrowania PMC (*Projected Memory Clustering*) bazujący na afinicznych podprzestrzeniach równoległych do osi układu współrzędnych, co pozwoliło na obserwację, że nie jest wtedy wymagane obliczanie macierzy kowariancji, co znacznie zredukowało złożoność obliczeniową zaproponowanej metody. Wyniki przedstawiono w pracy:

Łukasz Struski, Przemysław Spurek, Jacek Tabor, Marek Śmieja, Projected memory clustering, *Pattern Recognition Letters* (123), p. 9-15, 2019.

3. Zaproponowano reprezentację niekompletnych danych jako podprzestrzeni afinicznych, co pozwoliło na wykonywanie przekształceń afinicznych na tych reprezentacjach. Zastosowanie zaproponowanej reprezentacji dla klasyfikatora SVM potwierdziło wysoką jakość zaproponowanej reprezentacji w stosunku do znanych metod imputacji danych. Wyniki przedstawiono w:

Łukasz Struski, Marek Śmieja, Jacek Tabor, Pointed Subspace Approach to Incomplete Data, *Journal of Classification* (37), p. 42-57, 2020.

W ramach obszaru związanego z wykorzystaniem modeli generatywnych:

1. Zaproponowano metodę jednoczesnego poszukiwania krzywych geodezyjnych oraz ścieżek interpolacyjnych o określonych cechach, której jakość odnajdywania ścieżek interpolacyjnych przewyższała znane metody referencyjne. Wyniki zawarto w pracy:

Łukasz Struski, Michał Sadowski, Tomasz Danel, Jacek Tabor, Igor T. Podolak, Feature-Based Interpolation and Geodesics in the Latent Spaces of Generative Models., *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, p. 1–15, 2023.

2. Zaproponowano DMFA (*Deep Mixture of Factor Analyzers*) - głęboką sieć neuronową wspomaganą estymacją brakujących wartości z wykorzystaniem mieszanin gaussowskich do uzupełniania obrazów. Jakość opracowanej metody potwierdzono eksperymentalnie, a szczegóły umieszczono w:

Marcin Przewięźlikowski, Marek Śmieja, Łukasz Struski, Estimating conditional density of missing values using deep Gaussian mixture model, *Proceedings of International Conference on Neural Information Processing (ICONIP) 2020*, p. 220–231, 2020.

3. Przeprowadzono analizę wytrenowanych modeli generatywnych. Zaproponowano górne ograniczenie wiarygodności danych, co pozwoliło na porównanie jakości generowanych danych przez analizowane modele. Szczegóły zawarto w pracy:

Łukasz Struski, Marcin Mazur, Paweł Batorski, Przemysław Spurek, Jacek Tabor, Bounding Evidence and Estimating Log-Likelihood in VAE, *Proceedings of Artificial Intelligence and Statistics Conference (AISTATS) 2023*, p. 5036–5051, 2023.

4. Zaproponowano model LocoGAN, który umożliwia generowanie jedynie lokalnych fragmentów obrazów, a co za tym idzie możliwość przeszczepiania ich na inne obrazy. Jak przykład zastosowania podano możliwość wspomagania tworzenia portretów pamięciowych. Szczegóły rozwiązania zawarto w:

Łukasz Struski, Szymon Knop, Przemysław Spurek, Wiktor Daniec, Jacek Tabor, LocoGAN – Locally convolutional GAN, *Computer Vision and Image Understanding* (221), p. 103462, 2022.

W ramach obszaru związanego z wyjaśnialnością:

1. Zaproponowano metodę uczenia SONG (*Self-Organizing Neural Graph*) wykorzystująca procesy Markowa i gwarantująca podobną jakość jak metody referencyjne przy mniejszym rozmiarze grafu. Szczegóły zawarto w:

Łukasz Struski, Tomasz Danel, Marek Śmieja, Jacek Tabor, Bartosz Zieliński, SONGS: Self-Organizing Neural Graphs, *Proceedings of Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV) 2023*, p. 3848–3857, 2023.

2. Opracowano interpretowalny model oparty na prototypach, który umożliwia współdzielenie części prototypowych pomiędzy klasami, upraszczając tym samym reprezentację prototypów i proces uczenia. Szczegóły oraz ocenę rozwiązania zawarto w:

Dawid Rymarczyk, Łukasz Struski, Michał Górszczak, Koryna Lewandowska, Jacek Tabor, Bartosz Zieliński, Interpretable Image Classification with Differentiable Prototypes Assignment, *Proceedings of European Conference on Computer Vision (ECCV) 2022*, p. 351–368, 2022.

Wszystkie prace zostały napisane na bardzo dobrym poziomie, o czym świadczą m.in. wspomniane wcześniej miejsca ich publikacji. Prace posiadają bardzo duży element innowacyjny i *de facto* przedstawiają nowatorskie rozwiązania, które traktują opracowane algorytmy, takie jak SuMC, PMC, LocoGAN, SONG, czy DFMA, jako podstawy do rozwoju nowych rozwiązań. Jak wspomniano wcześniej, wszystkie artykuły wchodzące w skład cyklu są wieloautorskie, co świadczy o umiejętności współpracy habilitanta w ramach grup badawczych. We wszystkich swoich pracach dr Łukasz Struski stosuje adekwatny, zaawansowany aparat matematyczny, a chronologia badań i uzyskiwane w ich trakcie rezultaty świadczą o ich przemyślanej koncepcji i

dojrzałości naukowej habilitanta. W mojej opinii dorobek naukowy dra Łukasza Struskiego jest bardzo dobry, o zauważalnym wpływie na dyscyplinę informatyka techniczna i telekomunikacja.

Oprócz obszarów badawczych włączonych w cykl publikacji habilitant aktywnie rozwiązuje problemy w zakresie danych niekompletnych i wyjaśnialności (tylko część dorobku z tych obszarów włączono w cykl publikacji), półnadzorowane grupowanie, detekcji anomalii, czy rzadkich reprezentacji.

2.2 Ocena dorobku publikacyjnego

Na dorobek publikacyjny habilitanta składa się 30 publikacji, w tym 18 artykułów w czasopiśmie w tym 16 publikacji indeksowanych przez JCR (*Journal Citation Report*), których sumarycznych Impact Factor wynosi 111.261. Habilitant publikuje prace w dobrych czasopiśmie i konferencjach silnie związanych z tematyka uczenia maszynowego. Oprócz wymienionych czasopiśmie zawierających prace włączone do ocenianego cyklu, jego artykuły ukazały się w takich prestiżowych czasopiśmie, jak *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, *Neural Networks*, czy *Knowledge-Based Systems*. Ponadto, dr Struski jest współautorem publikacji na topowych konferencjach takich jak *NeurIPS*, *ACM KSS*, *IROS*, *ICML*, czy *ICLR*. Warto także wspomnieć, że habilitant jest współautorem podręcznika poświęconego głębokiemu uczeniu (Jacek Tabor, Marek Śmieja, Łukasz Struski, Przemysław Spurek, Maciej Wołczyk, *Głębokie uczenie: wprowadzenie*, Helion, 2022). Taki dorobek należy uznać za bardzo dobry na tym etapie kariery naukowej.

Analiza cytowań prac została przedstawiona w Tab. 1. Powyższe wyniki świadczą, że prace dra Struskiego są dostrzegane przez międzynarodowe środowisko naukowe związane z uczeniem maszynowym, a habilitant jest w nim rozpoznawaną postacią. Przedstawione w Tab. 1 wskaźniki są na dobrym poziomie, spełniające zwyczajowe wymagania stawiane osobom ubiegającym się o stopień doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżyneryjno-technicznych w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja

Tabela 1: Analiza cytowań na podstawie własnej kwerendy wykonanej w dniu 13 stycznia 2024r.

baza danych	H-index	cytowania bez autocytowań	cytowania łącznie
ISI Web of Knowledge	7	107	114
Scopus	8	236	257
Google scholar	10	–	526

2.3 Rozpoznawalność w środowisku naukowym

Jak wspomniano wcześniej, przedstawione powyżej wskaźniki bibliometryczne świadczą o rozpoznawalności habilitanta w środowisku naukowym związanym z uczeniem maszynowym. Dr Łukasz Struski był członkiem komitetów organizacyjnych trzech edycji TFML International Conference on Theoretical Foundations of Machine Learning oraz pełnił funkcję recenzenta na topowych konferencjach: *ICML*, *WACV*, *AISTATS*, *ECML PKDD*, *CVPR*, *ICLR* oraz *NeurIPS*.

2.4 Kierowanie projektami badawczymi

Habilitant obecnie kieruje projektem *Rzadkie i dyskretne reprezentacje w ukrytych przestrzeniach*, przyznanego w ramach programu Sonata (NCN).

2.5 Nagrody za działalność naukową

Habilitant był trzykrotnie laureatem nagrody Rektora Uniwersytetu Jagiellońskiego.

2.6 Udział w międzynarodowych lub krajowych konferencjach

Habilitant ma doświadczenie związane z prezentowaniem swoich osiągnięć na forach międzynarodowych. Habilitant przygotował i wygłosił pięć wystąpień konferencyjnych.

Biorąc powyższe pod uwagę należy stwierdzić, że przedłożony cykl publikacji pt. *Płytkie i głębokie modele uczenia maszynowego w eksploracji i interpretacji danych*, dorobek publikacyjny oraz pozycja dra Łukasza Struskiego w środowisku naukowym są na bardzo dobrym poziomie w zakresie wymagań stawianym osobom ubiegającym się o stopień doktora habilitowanego.

3 Współpraca z sektorem gospodarczym

Habilitant aktywnie współpracuje z podmiotami gospodarczymi. We współpracy z firmami UES sp. z o.o., Samsung R&D oraz Reliability Solutions Sp. z o.o. zrealizował, bądź realizuje cztery projekty.

Aktywność dra Łukasza Struskiego w zakresie współpracy z sektorem gospodarczym należy uznać za ponadprzeciętną.

4 Ocena dorobku dydaktycznego i popularyzatorskiego oraz współpracy międzynarodowej

4.1 Uczestnictwo w projektach

Habilitant uczestniczył w pięciu projektach NCN (Sonata Opus) oraz jednym Team-Net (FNP). Jak wspomniano, dodatkowo kierował także jednym projektem w ramach programu Sonata (NCN).

4.2 Dorobek dydaktyczny

Dr Struski był promotorem dziesięciu prac magisterskich. Habilitant prowadzi wykłady z zakresu inżynierii oprogramowania oraz formy pomocnicze w zakresie zarówno inżynierii oprogramowania, jak i matematyki. Biorąc powyższe pod uwagę należy uznać dorobek dra Łukasza Struskiego w zakresie działalności dydaktycznej za dobry.

4.3 Dorobek organizacyjny i popularyzatorski

Dr Łukasz Struski aktywnie włącza się organizację konferencji naukowej TFML, a także w inne obszary działalności organizacyjnej Uniwersytetu Jagiellońskiego. Był członkiem komisji rekrutacyjnej, koordynatorem Festiwalu Nauki i Sztuki na Wydziale Matematyki i Informatyki UJ (przez pięć lat), koordynatorem w projekcie *Sztuczne sieci neuronowe inspirowane biologicznie*, współorganizował *Machine Learning Nokia Workshop* w 2019 r., był członkiem komitetu organizacyjnego Jubileuszowego Zjazdu Matematyków Polskich w stulecie PTM w 2019 r., jurorem w konkursie o stypendium imienia Michała Jakuba Łyska, współuczestniczył w tworzeniu ścieżki certyfikacyjnej rozwiązań SAS dla studentów UJ, włączał się aktywnie w prace na rzecz rozwoju infrastruktury obliczeniowej macierzystej uczelni.

Dodatkowo, dr Struski przeprowadził wykład popularyzatorski *Google Maps – wyszukiwanie tras* w ramach cyklu warsztatów *Praca z uczniem uzdolnionym matematycznie* oraz jest współautorem wspomnianego wcześniej podręcznika dotyczącego głębokiego uczenia.

4.4 Współpraca krajowa i międzynarodowa

Dr Łukasz Struski odbył trzy krótkoterminowe staże naukowe na Politechnice Wrocławskiej (zespół prof. Macieja Zięby), w Department of Media and Digital Technologies, Uniwersytet w Helsinkach, Finlandia (zespół prof. Arto Klami) oraz w Instituto Superior Técnico Uniwersytetu Autonomicznego w Barcelonie, Hiszpania (zespół prof. Joost van de Weijer). Ponadto, habilitant aktywnie współpracuje z naukowcami z Uniwersytetu Cambridge, Instytut Farmakologii im. Jerzego Maja PAN, Uniwersytetu w Lizbonie, Instytut Biologii Doświadczalnej PAN, Instytut Fizyki Jądrowej PAN, Politechniki Warszawskiej, Akademii Górniczo-Hutniczej. Potwierdzeniem efektywności wspomnianych kooperacji są powstałe w ich ramach publikacje.

Biorąc powyższe pod uwagę należy stwierdzić, że dorobek dydaktyczny i popularyzatorski oraz współpraca z innymi ośrodkami badawczymi dra Łukasza Struskiego jest na dobrym poziomie w zakresie wymagań stawianym osobom ubiegającym się o stopień doktora habilitowanego.

5 Konkluzja

Reasumując, we wszystkich aspektach oceny osiągnięcia dra Łukasza Struskiego należy uznać za bardzo dobre, bądź ponadprzeciętne, w tym przedłożony przez habilitanta cykl publikacji oraz jego dorobek publikacyjny.

Biorąc powyższe pod uwagę, uprawnione jest sformułowanie konkluzji, że dr Łukasz Struski spełnia ustawowe wymagania stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora habilitowanego, a także wymagania zwyczajowe przyjęte w tej kwestii w polskim środowisku naukowym. W szczególności, zgodnie z art. 219 Ustawy "Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce":

- posiada stopień doktora;
- posiada w dorobku osiągnięcie naukowe stanowiące znaczny wkład w rozwój dyscypliny *informatyka techniczna i telekomunikacja*, w formie cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopiśmie naukowych lub w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowych, które w roku opublikowania artykułu w ostatecznej formie były ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. b Ustawy "Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce";
- wykazuje się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej, co zostało potwierdzone odbyciem staży naukowych oraz wspólnymi publikacjami.

Wnioskuje o nadanie drowi Łukaszowi Struskiemu stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżyneryjno-technicznych w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja.