L.dz.-49/2021
Wpł. RDITT w dniu 07.04.2021

Dr hab. inż. Grzegorz Bocewicz, prof. PK
Wydział Elektroniki i Informatyki
Politechnika Koszalińska
ul. Śniadeckich 2
75-453 Koszalin

Koszalin, 23.03.2021

Recenzja osiągnięć i aktywności naukowej dra inż. Jakuba Nalepy w związku z postępowaniem w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja

Przedmiotem niniejszej recenzji jest ocena osiągnięcia naukowego oraz ocena aktywności naukowej dra inż. Jakuba Nalepy, w związku z postępowaniem w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego prowadzonym przez Radę Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Śląskiej, zgodnie z decyzją Rady Doskonałości Naukowej nr Z2.4000.44.2020.3BR.

Dokumentacja dostarczona przez Habilitanta została przygotowana starannie i zawiera:

- dane wnioskodawcy,
- kopię dokumentu potwierdzającego posiadanie stopnia doktora,
- autoreferat,
- wykaz osiągnięć naukowych,
- cykl publikacji stanowiących osiągnięcie habilitacyjne,
- oświadczenia współautorów prac wchodzących w skład cyklu publikacji przedstawionego jako osiągnięcie habilitacyjne.

I. Sylwetka Habilitanta

Dr inż. Jakub Nalepa w 2011 r. ukończył studia wyższe na Wydziale Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej na kierunku: *Interdisciplinary Studies: Automatic Control and Robotics, Electronics and Telecommunications, Computer Science, with major in Informatics* uzyskując tytuł magistra inżyniera. W tym samym roku rozpoczął studia doktoranckie w Instytucie Informatyki Politechniki Śląskiej. W 2016 r. uzyskał stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie informatyka - tytuł rozprawy: „Genetic and memetic algorithms for selection of training sets for support vector machines" (rozprawa obroniona z wyróżnieniem). W 2016 r. został zatrudniony jako asystent a następnie od 2018 r. jako adiunkt w Katedrze Algorytmiki i Oprogramowania (Instytut Informatyki Politechniki Śląskiej), gdzie pracuje do dziś. W 2010 r. rozpoczął współpracę z firmą Future Processing S.A., z którą prowadził szereg projektów badawczych związanych z analizą obrazów medycznych i uczeniem maszynowym. W 2018 r. rozpoczął pracę w firmie KP Labs Sp. z. o. o. (Centrum Badawczo-Rozwojowe), w której jest kierownikiem d/s badań dotyczących analizy obrazów hiperspektralnych.

II. Ocena jednotematycznego cyklu publikacji pt.: „Algorytmy uczenia głębokiego dla problemów klasyfikacji i segmentacji danych obrazowych"

Jako osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę do ubiegania się o uzyskanie stopnia naukowego doktora habilitowanego dr inż. Jakub Nalepa przedstawił jednotematyczny cykl publikacji pod wspólnym tytułem *„Algorytmy uczenia głębokiego dla problemów klasyfikacji i segmentacji danych obrazowych"*. Cykl ten zawiera 13 artykułów, z których 9 jest opublikowanych w czasopismach z listy Journal Citation Reports (JCR), a pozostałe 4 są wydane w materiałach konferencji A i B rankingu CORE.

Badania naukowe prowadzone przez Habilitanta w opiniowanym okresie (2016-2020 r.) obejmują szeroki zakres zagadnień począwszy od ewolucyjnego uczenia maszynowego, poprzez rozwiązywanie problemów transportowych klasy VRP (*Vehicle Routing Problem*), na analizie i przetwarzaniu obrazów skończywszy. Oceniane osiągnięcie naukowe związane z ostatnią z wyżej wymienionych aktywności dotyczy problematyki sztucznej inteligencji, a w szczególności zagadnień:

- analizy/rozpoznawania obrazów medycznych klasy MR (magnetic resonance),
- analizy/rozpoznawania obrazów hiperspektralnych (zdjęcia satelitarne),
- metod augmentacji danych treningowych dla sieci neuronowych,
- metod automatycznej syntezy struktur głębokich sieci neuronowych.

Poruszane zagadnienia są istotne ze względu na „trudny" charakter analizowanych obiektów. Klasyfikacja / segmentacja obrazów MR, jak i obrazów hiperspektralnych, wiąże się zwykle z koniecznością trenowania sieci przy użyciu niewielkich zbiorów danych (nieliczne zbiory zdjęć medycznych / brak dostępu do zdjęć satelitarnych). W celu zwiększenia jakości trenowanych sieci sztucznie dogenerowywuje się dane treningowe (augmentacja danych). W tym ujęciu możliwość skutecznej klasyfikacji obrazów przez głębokie sieci neuronowe jest warunkowana jakością metod augmentacji danych treningowych wykorzystywanych do ich wytrenowania. Odrębnym podejściem umożliwiającym zwiększenie jakości trenowanych sieci (szczególnie w zakresie segmentacji obrazów MR jak i obrazów hiperspektralnych) jest optymalizacja ich struktury. Odpowiedni dobór hiperparametów opisujących architekturę sieci głębokiej pozwala na jej dostosowanie do rozważanej klasy obrazów i tym samym zwiększenie uzyskiwanej jakości klasyfikacji /segmentacji.
W tym kontekście prowadzone przez Habilitanta badania koncentrują się przede wszystkim na rozwijaniu istniejących lub opracowywaniu nowych alternatywnych algorytmów umożliwiających konstrukcję sieci neuronowych o wyższej (niż pozwalają na to istniejące rozwiązania) jakości klasyfikacji zadanej klasy obrazów. Habilitant koncentruje się na dwóch obszarach: doborze danych treningowych gwarantujących określony poziom jakości klasyfikacji sieci neuronowych oraz modelowaniu struktur sieci neuronowych, w taki sposób by spełniały one zadane warunki. Prowadzone badania mają wysoki walor utylitarny. W większości dotyczą one analizy obrazów medycznych MR (rozpoznawanie guzów mózgu), jak i obrazów hiperspektralnych. O jakości opracowanych rozwiązań świadczy m.in. uzyskanie certyfikatu wyrobu medycznego (klasa IIa, nr:TNP/MDD/0308/4651/20200) dla zaprojektowanego systemu rozpoznawania guzów mózgu, implementacja opracowanych sieci na pokładzie satelity *Intuituion-1* (projekt NCBiR: POIR.01.01.01-00-0356/17), jak i liczna współpraca z podmiotami naukowymi i przemysłowymi m.in. z: Europejską Agencją Kosmiczną (Frascati, Włochy), Japan Space Systems (Tokio, Japonia), Cambridge Computed Imaging Ltd., Centrum Onkologii - Instytut im. Marii Skłodowskiej-Curie (Gliwice), itd.

Jak już w wspomniano, cykl publikacji obejmuje 13 artykułów:

[JN1] P. Ribalta Lorenzo, Ł. Tulczyjew, M. Marcinkiewicz, **J. Nalepa**, Hyperspectral band selection using attention-based convolutional neural networks, IEEE Access, vol. 8, pp. 42384-42403, 2020. /IF=3,745/ 100 pkt. MNiSW/ udział procentowy Habilitanta 40% / przypisana dyscyplina naukowa: informatyka techniczna i telekomunikacja/

[JN2] **J. Nalepa**, M. Myller, M. Kawulok, Training- and test-time data augmentation for hyperspectral image segmentation, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 17, no. 2, pp. 292-296, 2020. /IF=3,833/ 140 pkt. MNiSW/ udział procentowy habilitanta 60%/ przypisana dyscyplina naukowa: informatyka techniczna i telekomunikacja/

[JN3] **J. Nalepa**, M. Antoniak, M. Myller, P. Ribalta Lorenzo, M. Marcinkiewicz, Towards resource-frugal deep convolutional neural networks for hyperspectral image segmentation, Microprocessors and Microsystems, vol. 73, pp.102994, 2020. /IF=1,161/ 40 pkt. MNiSW/ udział procentowy Habilitanta 70% / przypisana dyscyplina naukowa: informatyka techniczna i telekomunikacja/

[JN4] **J. Nalepa**, P. Ribalta Lorenzo, M. Marcinkiewicz, B. Bobek-Billewicz, P. Wawrzyniak, M. Walczak, M. Kawulok, W. Dudzik, K. Kotowski, I. Burda, B. Machura, G. Mrukwa, P. Ulrych, M. P. Hayball, Fully-automated deep learning-powered system for DCE-MRI analysis of brain tumors, Artificial Intelligence in Medicine, vol. 102, pp. 101769, 2020. /IF=4,383/ 100 pkt. MNiSW/ udział procentowy Habilitanta 50% / przypisana dyscyplina naukowa: informatyka techniczna i telekomunikacja/

[JN5] **J. Nalepa**, M. Myller, Y. Imai, K. Honda, T. Takeda, M. Antoniak,Unsupervised segmentation of hyperspectral images using 3-D convolutional autoencoders, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, pp. 1-5, 2020 (artykuł dostępny online w trybie "Early Access", DOI:10.1109/LGRS.2019.2960945). /IF=3,833 / 140 pkt. MNiSW/ udział procentowy Habilitanta 60% / przypisana dyscyplina naukowa: informatyka techniczna i telekomunikacja/

[JN6] **J. Nalepa**, M. Myller, M. Kawulok, Transfer learning for segmenting dimensionally reduced hyperspectral images, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 17, no. 7, pp. 1228-1232, 2020. /IF=3,833/ 140 pkt. MNiSW/ udział procentowy Habilitanta 60% / przypisana dyscyplina naukowa: informatyka techniczna i telekomunikacja/

[JN7] **J. Nalepa**, M. Myller, M. Kawulok, Validating hyperspectral image segmentation, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 16, no. 8, pp. 1264-1268, 2019. /IF=3,833/ 140 pkt. MNiSW/ udział procentowy Habilitanta 40% / przypisana dyscyplina naukowa: informatyka techniczna i telekomunikacja/

[JN8] P. Ribalta Lorenzo, **J. Nalepa**, B. Bobek-Billewicz, P.Wawrzyniak, G. Mrukwa, M. Kawulok, P. Ulrych, M. P. Hayball, Segmenting brain tumors from FLAIR MRI using fully convolutional neural networks, Computer Methods and Programs in Biomedicine, vol. 176, pp. 135-148, 2019. /IF=3,632/ 100 pkt. MNiSW/ udział procentowy habilitanta 40% / przypisana dyscyplina naukowa: informatyka techniczna i telekomunikacja/

[JN9] **J. Nalepa**, M. Marcinkiewicz, M. Kawulok, Data augmentation for braintumor segmentation: A review, Frontiers in Computational Neuroscience, vol. 2019, pp. 1-18, 2019. /IF=2,535/ 70 pkt. MNiSW/ udział procentowy Habilitanta 80% / przypisana dyscyplina naukowa: informatyka techniczna i telekomunikacja/

[JN10] **J. Nalepa**, G. Mrukwa, S. Piechaczek, P. Ribalta Lorenzo, M. Marcinkiewicz, B. Bobek-Billewicz, P.Wawrzyniak, P. Ulrych, J. Szymanek, M. Ćwięk, W. Dudzik, M. Kawulok, M. P. Hayball, Data augmentation via image registration, Proc. 2019 IEEE International Conference on Image Processing, ICIP 2019, Taipei, Taiwan, September 22-25, 2019, pp. 4250-4254, 2019./70 pkt. MNiSW, Web of Science/ CORE B/ udział procentowy Habilitanta 70% /

[JN11] P. Ribalta Lorenzo, **J. Nalepa**, Memetic evolution of deep neural networks, Proc. of the Genetic and Evolutionary Computation Conference, GECCO 2018, Kyoto, Japan, July 15-19, 2018, pp. 505-512, 2018. /140 pkt. MNiSW/ CORE A/ udział procentowy Habilitanta 45% /

[JN12] P. Ribalta Lorenzo, **J. Nalepa**, L. Sánchez Ramos, J. Ranilla Pastor, Hyper-parameter selection in deep neural networks using parallel particle swarm optimization, Prof. of the Genetic and Evolutionary Computation Conference, GECCO 2017, Berlin, Germany, July 15-19, 2017, Companion Material Proceedings, pp. 1864-1871, 2017. /140 pkt. MNiSW/ CORE A/ udział procentowy Habilitanta 40% /

[JN13] P. Ribalta Lorenzo, **J. Nalepa**, M. Kawulok, L. Sánchez Ramos, J. Ranilla Pastor, Particle swarm optimization for hyper-parameter selection in deep neural networks, Proc. of the Genetic and Evolutionary Computation Conference, GECCO 2017, Berlin, Germany, July 15-19, 2017, pp. 13-24, 2017. /140 pkt. MNiSW, Web of Science/ CORE A/ udział procentowy Habilitanta 40% /

Wszystkie artykuły cyklu dotyczą badań prowadzonych w latach 2017-2020. Są to artykuły współautorskie, w których udział Habilitanta nie jest mniejszy niż 40%. Liczba punktów uzyskanych z tych artykułów wynosi 1460 (746 ważona wg wkładu autorskiego). Sumaryczna wartość wskaźnika *Impact Factor* dla czasopism, w których publikowane były prace **JN1-JN9** wynosi 30,788. Należy zaznaczyć, że według aktualnego (09.02.2021 r.) wykazu czasopism naukowych i recenzowanych materiałów konferencyjnych wszystkie spośród nich są opublikowane w czasopismach przypisanych m.in. do dyscypliny *informatyka techniczna i telekomunikacja*. Warto dodać, że czasopisma przedstawionego zbioru publikacji odzwierciedlają interdyscyplinarny charakter prowadzonych badań w zakresie takich dyscyplin jak: *inżynieria lądowa i transport (geodezja)* oraz *inżynieria biomedyczna (diagnostyka obrazowa)*.

Prace **JN13, JN12, JN11** (kolejność chronologiczna) związane są głównie z tematyką automatycznego projektowania struktur sieci głębokich i wyznaczania optymalnych wartości ich hiperparametrów.

W pracy **JN13** przedstawiony został autorski algorytm PSO (*Particle Swarm Optimization*) umożliwiający dobór optymalnych wartości hiperparametrów dla zadanej struktury sieci. W ramach rozważanego problemu poszukiwana jest struktura sieci (charakteryzowana przez wybrany zbiór hiperparametrów) maksymalizująca jakość klasyfikacji obrazów binarnych i barwnych. W pracy rozważano sieci o architekturach typu SimpleNet (architektury autorskie) jak LeNet-4. Przeprowadzone badania pokazały, że opracowany algorytm PSO charakteryzuje się mniejszym czasem wyznaczania rozwiązania niż znane metody losowe i metody oparte na przeszukiwaniu siatki.

Praca **JN12** zawiera rezultaty dalszych badań z zakresu syntezy struktur sieci głębokich. W artykule przedstawiono równoległy wariant opracowanego algorytmu PSO [JN13] oraz przeprowadzono eksperymenty obliczeniowe potwierdzające skuteczność zrównoleglania obliczeń. Prowadzone badania [JN13, JN12] stanowią element rozprawy doktorskiej Pablo Ribalta Lorenzo, w której dr inż. Jakub Nalepa pełni rolę promotora pomocniczego.

W pracy **JN11** przedstawiono kolejny algorytm umożliwiający optymalizację hiperparametrów sieci głębokich. Opracowany algorytm memetyczny jest hybrydą algorytmu ewolucyjnego i algorytmów ulepszeń lokalnych. W ramach prac nad algorytmem opracowano autorski operator mutacji bazujący na procesach gaussowskich oraz wykorzystano grafową reprezentację struktury sieci (acykliczne grafy skierowane z możliwymi schematami przeskoków). Przeprowadzone eksperymenty obliczeniowe wykazały, że wyznaczone topologie sieci konwolucyjnych charakteryzują się większą jakością segmentacji obrazów niż sieci z ręcznie dobranymi parametrami. Badania dotyczyły segmentacji guzów mózgu w obrazowaniu MR.

Prace **JN8, JN4** (kolejność chronologiczna) dotyczą analizy obrazów MR w zakresie segmentacji guzów mózgu.

W pracy **JN8** podjęto próbę rozwiązania problemu projektowania i treningu sieci segmentującej w oparciu o niewielkie (małoliczne) zbiory danych treningowych. W praktyce, z tego typu sytuacją można się spotkać na przykład w procesie rozpoznawania obrazów medycznych, gdzie liczba obrazów treningowych jest niewielka, a ich parametry są zależne od rodzaju wykorzystanego do ich pozyskania skanera. W pracy przedstawiono autorski sposób doboru zbioru treningowego (walidacja krzyżowa w modelu *leave-one-out*) oraz przenalizowano wpływ rozbudowanej augmentacji obrazów na jakość segmentacji. Wyniki przeprowadzonych eksperymentów okazały się lepsze niż w przypadku stosowania znanych z literatury podejść opartych na ekstrakcji różnorodnych cech superpikselowych i metod klasyfikacji nadzorowanej.

Praca **JN4** zawiera rezultaty dalszych badań rozszerzonych o możliwość analizy obrazów dynamicznych. W pracy przedstawiono automatyczny system ekstrakcji biomarkerów z obrazowania dynamicznego po wzmocnieniu środkiem kontrastowym. W pracy zaproponowane zostały algorytmy wyznaczania obszaru VIF (*vascular input function*) oraz algorytm do automatycznej segmentacji guza w obrazach MR. Przeprowadzone eksperymenty umożliwiły uzyskanie certyfikatu CE dla wyrobów medycznych (tzn. opracowany system jest certyfikowanym wyrobem medycznym klasa IIa, nr:TNP/MDD/0308/4651/2020).

Tematyka segmentacji obrazów była rozwijana przez Habilitanta również w zakresie analizy obrazów hiperspektralnych. W tym temacie powstały prace **JN7, JN6, JN5, JN3, JN1** (kolejność chronologiczna).

Podobnie jak w przypadku analizy obrazów MR dostępne dane treningowe dla problemów segmentacji obrazów hiperspektralnych są nieliczne. Projektowanie (trenowanie) efektywnych klasyfikatorów nie jest więc zadaniem łatwym. W pracy **JN7** przeprowadzono analizę dostępnych zbiorów benchmarkowych i zaproponowano autorski algorytm ich podziału na wycinki obrazów używanych do treningu i testowania. Przeprowadzone eksperymenty potwierdziły, że uzyskane w ten sposób zbiory pozwalają uniknąć „niewłaściwej" (zbyt optymistycznej) oceny projektowanego klasyfikatora.

Alternatywne rozwiązanie przedstawiono w pracy **JN6**. W artykule zaproponowano algorytm uczenia z przeniesieniem wiedzy, w którym ekstraktor cech jest trenowany z wykorzystaniem źródłowych danych treningowych, a część klasyfikacyjna jest dostrajana przy użyciu danych docelowych. W procesie tym wykorzystuje się dodatkowo autorską metodę redukcji wymiarowości danych hiperspektralnych. Takie rozwiązanie pozwoliło na wytrenowanie klasyfikatora obrazów hiperspektralnych wysokiej jakości przy użyciu niewielkiej ilości danych treningowych.

Wątek analizy obrazów hiperspektralnych był dalej kontynuowany w pracy **JN5**. W artykule przedstawiono nową architekturę sieci bazującą na trójwymiarowych konwolucyjnych autoenkoderach (3D-CAE). Skuteczność opracowanego algorytmu segmentacji (bazującego na przedstawionej architekturze) została potwierdzona w serii eksperymentów analizy rzeczywistych

obrazów hiperspektralnych (współpraca z firmami Kokusai Kogyo Co., Ltd. oraz Japan Space Systems).

W pracy **JN3** podjęto z kolei próbę zmniejszenia „skali" sieci umożliwiających poprawną segmentację obrazów hiperspektralnych. W szczególności prowadzone badania dotyczyły zmniejszenia wymagań pamięciowych. W pracy pokazano, że kwantyzacja sieci w trakcie jej treningu pozwala na czterokrotną redukcję jej rozmiarów przy nieznacznym spadku jakości klasyfikacji obrazów. Planowane jest, aby sieć tego typu została zaimplementowana na pokładzie satelity *Intuituion-1* (projekt NCBiR: POIR.01.01.01-00-0356/17).

Praca **JN1** zawiera rezultaty dalszych badań w zakresie redukcji wymiarowości obrazów hiperspektralnych. W artykule przedstawiono nowy wariant metody selekcji cech, w której ocena „istotności" pasm jest realizowana w oparciu o sieci konwolucyjne. Sieci te zostały uzupełnione o moduły atencji, dzięki którym możliwe jest wyznaczanie tzw. map atencyjnych. Metoda ta pozwala na wyselekcjonowanie z obrazu podzbioru tych pasm (co pozwoli zredukować jego rozmiar), które zawierają najistotniejsze informacje o obiektach analizowanej sceny. Zaproponowana metoda została porównana z metodami ewolucyjnymi. Przeprowadzone eksperymenty wykazały, że opracowana metoda charakteryzuje się niższym czasem obliczeń.

Odrębny wątek prowadzonych badań dotyczy augmentacji danych treningowych. Otrzymane rezultaty zawarto w pracach **JN10, JN9, JN2** (kolejność chronologiczna).

Praca **JN10** zawiera propozycje algorytmu augmentacji obrazów MR (guzów mózgu) wykorzystującego techniki dopasowania. Zaproponowana koncepcja umożliwia wygenerowanie określonej liczby dodatkowych obrazów treningowych za pomocą przekształceń dyfeomorficznych wybranej pary oryginalnych obrazów treningowych. Takie przekształcenia zachowują topologię obiektów, dzięki czemu możliwe jest wygenerowanie realistycznych obrazów. Przeprowadzone badania pokazały, że wykorzystanie dodatkowych (syntetycznie wygenerowanych) obrazów poprawia jakość trenowanych sieci neuronowych.

Praca **JN9** stanowi syntetyczny przegląd literatury w zakresie metod augmentacji danych obrazów MR. Zawiera ona podsumowanie możliwości dostępnych rozwiązań wraz ze wskazaniem potencjalnych kierunków ich dalszego rozwoju.

Praca **JN2** dotyczy z kolei augmentacji obrazów hiperspektralnych. W artykule zaproponowano hybrydowe podejście augmentacji danych, w którym zakłada się, że obrazy syntetyczne generowane są nie tylko przed treningiem, ale również w trakcie inferencji wytrenowanego modelu klasyfikacyjnego. Na potrzeby tego podejścia opracowano dwa algorytmy augmentacji: algorytm bazujący na analizie głównych składowych PCA (*Principal Component Analysis*) oraz algorytm PVS translacji pikseli hiperspektralnych (*Pixel-Value Shift Augmentation*). Przeprowadzone eksperymenty wykazały, że zaproponowane podejście pozwala na polepszenie możliwości klasyfikacyjnych sieci konwolucyjnych.

Podsumowując „osiągnięcie naukowe" dra inż. Jakub Nalepy obejmuje zbiór narzędzi (modeli i metod) z obszaru sztucznej inteligencji, wspomagających projektowanie głębokich sieci neuronowych przeznaczonych do analizy i przetwarzania obrazów MR i obrazów hiperspektralnych. Rezultaty prowadzonych prac przedstawione w recenzowanym cyklu publikacji wnoszą istotny przyczynek do badań będących przedmiotem informatyki. Do głównych osiągnięć prowadzonych badań można zaliczyć autorskie opracowania:

1. algorytmów augmentacji danych:
    - algorytm augmentacji oparty na analizie głównych składowych **[JN2]**,
    - algorytm augmentacji oparty na translacji pikseli hiperspektralnych **[JN2]**,
    - algorytm augmentacji obrazów MR guzów mózgu bazujący na przekształceniach dyfeomorficznych **[JN9]**,

2. algorytmów z zakresu treningu i walidacji sieci głębokich:
    - algorytm selekcji cech obrazów hiperspektralnych wykorzystujący sieci konwolucyjne **[JN1]**,
    - algorytm generowania podziału danych hiperspektralnych na zbiory treningowe, walidacyjne i testowe **[JN7]**,
    - algorytm uczenia z przeniesieniem wiedzy **[JN6]**,
    - algorytm ekstrakcji biomarkerów z dynamicznego obrazowania MR **[JN4]**,
3. algorytmów syntezy hiperparametrów sieci głębokich:
    - algorytm automatycznego doboru hiperparametrów wykorzystujący optymalizację rojem cząstek **[JN13]**,
    - równoległy algorytm automatycznego doboru hiperparametrów wykorzystujący optymalizację rojem cząstek **[JN12]**,
    - algorytm memetyczny automatycznej syntezy struktury sieci konwolucyjnej **[JN11]**,
4. modeli sieci głębokich:
    - architektura sieci bazującej na trójwymiarowych konwolucyjnych autoenkoderach (3D-CAE) **[JN5]**,
    - koncepcja kwantyzowanych sieci głębokich **[JN3]**.

Przy zachowaniu pozytywnej oceny uzyskanych wyników, odczuwam niedosyt związany z faktem, że Habilitant nie podjął się próby zebrania rezultatów prowadzonych badań w postaci syntezującej je monografii. Pojawienie się takiej pozycji na rynku wypełniłoby istniejącą lukę w literaturze poświęconej analizie i przetwarzaniu obrazów klasy MR i/lub obrazów hiperspektralnych. Taka monografia mogłaby stać się również okazją do poruszenia wielu wątków, które nie znalazły się w recenzowanym cyklu publikacji. Przykładem może tu być synteza warunków (w postaci stosownych twierdzeń i właściwości matematycznych), których spełnienie gwarantuje skuteczność (przewagę) proponowanych algorytmów. Brak tego typu badań jest szczególnie odczuwalne w prezentowanym procesie weryfikacji, który w większości przypadków sprowadzał się do porównania proponowanych algorytmów z istniejącymi rozwiązaniami. W tym ujęciu trudno ocenić w jakich warunkach (przy jakich cechach analizowanych obrazów, właściwościach zbiorów treningowych, itp.) utrzymywany jest uzyskany poziom klasyfikacji/segmentacji. Powyższe zagadnienie wskazuje na potencjalny kierunek dalszych prac i nie obniża mojej oceny dotychczas uzyskanych wyników.

Konkludując, stwierdzam, że przedstawione w nim prace:

- stanowią spójną całość i odzwierciedlają konsekwentną, poprawnie zaplanowaną i wykonaną pracę badawczą,
- zawierają ważne i oryginalne wyniki w zakresie problemów projektowania głębokich sieci neuronowych oraz klasyfikacji/segmentacji danych obrazowych,
- we właściwy sposób i twórczo wykorzystują znane na gruncie informatyki metody i modele.

Stwierdzam, że przedstawione przez dra inż. Jakuba Nalepę „osiągnięcie naukowe" zostało uzyskane i stanowi wymagany wkład w rozwój dyscypliny naukowej informatyka techniczna i telekomunikacja.

III. Całościowa ocena aktywności naukowej

W tej części scharakteryzowany i oceniony został całościowo dorobek naukowy osiągnięty po uzyskaniu stopnia doktora.

Publikacje naukowe. W latach 2016-2020 Habilitant opublikował 1 autorską oraz 61 współautorskich prac. Wśród nich 12 artykułów (w tym 9 z recenzowanego cyklu publikacji) jest opublikowanych w czasopismach indeksowanych na liście JCR posiadających wskaźnik *Impact Factor*. Zgodnie z oświadczeniem Habilitanta sumaryczna wartość wskaźnika IF dla tych prac wynosi IF = 41,794. Większości przypadków wkład autorski w tych pracach nie jest mniejszy niż 40%. Na pozostałą część dorobku publikacyjnego składa się:

- 1 artykuł spoza aktualnego wykazu czasopism naukowych i recenzowanych materiałów konferencyjnych,
- 24 rozdziały w monografiach (w tym rozdziały monografii pokonferencyjnych),
- 21 artykułów w recenzowanych materiałach konferencyjnych.

Uważam, że w rozważanym okresie działalności naukowej (4 lata) Habilitant uzyskał znaczący dorobek naukowy pod względem parametrycznym (sumarycznej liczby artykułów, publikacji i referatów konferencyjnych). Prawie wszystkie z Jego publikacji mają charakter współautorski, ale udział własny w tych pracach jest wyraźny i w wielu przypadkach dominujący.

Liczba cytowań i indeks Hirscha. Aktywność publikacyjna znajduje również swój wyraz w ocenie parametrycznej. Wartość indeksu Hirscha wynosi: **h=14** dla bazy Web of Science i **h=16** (14 bez uwzględnienia autocytowań) dla bazy Scopus oraz **h=20** dla Google Scholar. Liczba cytowań dla tych baz wynosi odpowiednio **84 (51), 883** (579) i **1782** - dane na dzień 23.03.2021r. Liczby te wskazują, że dorobek Habilitanta według tych kryteriów należy uznać za bardzo dobry.

Uczestnictwo w międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych. Aktywność w tym zakresie jest wysoka. Dr inż. Jakub Nalepa był uczestnikiem 19 międzynarodowych, konferencji naukowych m.in. *IEEE International Conference on Image Processing, European Congress of Radiology, The Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO), IEEE Congress on Evolutionary Computation (IEEE CEC), International Conference on P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing, (3PGCIC),* itp.
W ocenianym okresie 5-krotnie wygłosił wykłady na zaproszenie (np. dla Isaac Newton Institute for Mathematical Sciences, University of Cambridge) oraz 4-krotnie prowadził wykłady plenarne na międzynarodowych konferencjach naukowych.
Był ponadto członkiem komitetów programowych 7 konferencji międzynarodowych, organizatorem warsztatów naukowych 3 konferencji międzynarodowych, przewodniczącym 1 sesji specjalnej.

Kierowanie oraz uczestnictwo w projektach międzynarodowych i krajowych. Prowadzone badania charakteryzują się wysokim walorem praktycznym. Problematyka klasyfikacji/segmentacji obrazów MR/obrazów hiperspektralnych, jak i projektowania głębokich sieci neuronowych przejawia się w licznych projektach naukowych prowadzonych przez Habilitanta. Dr inż. Jakub Nalepa uczestniczył w 13 projektach naukowo-badawczych (w tym kierował 4 projektami finansowanymi m.in. przez Europejską Agencję Kosmiczną, Narodowe Centrum

Badań i Rozwoju, Narodowe Centrum Nauki, itp.) co pozwoliło mu zgromadzić i potwierdzić odpowiednie doświadczenie zawodowe w tym obszarze.
Aktywność naukowa realizowana w więcej niż jednej uczelni / instytucji naukowej. Dr. inż. Jakub Nalepa prowadzi swoje badania przy stałej współpracy z dwoma ośrodkami:

- KP Labs Sp. z.o.o. (03.2018 - obecnie), firma posiada status Centrum Badawczo-Rozwojowego,
- Future Processing S.A. (05.2010 - obecnie).

W ramach tej współpracy prowadził wspólne badania z takimi ośrodkami jak: Europejska Agencja Kosmiczna (Frascati, Włochy), Kokusai Kogyo Co., Ltd. (Tokio, Japonia), Japan Space Systems (Tokio, Japonia), University College London (Londyn, Wielka Brytania), itp. Ponadto Habilitant uczestniczył w 5 zagranicznych i 1 krajowym stażu w takich ośrodkach naukowych jak: University of Malta, Cambridge Computer Imaging Ltd., Towarzystwo Fraunhofera (Fraunhofer-Gesellschaft), Instytut „Pomnik - Centrum Zdrowia Dziecka".

Recenzowanie publikacji, projektów, realizacja ekspertyz. O zdobytym uznaniu środowiska świadczą również wielokrotne zaproszenia dra inż. Jakuba Nalepy do recenzji publikacji międzynarodowych czasopism naukowych indeksowanych na liście JCR (203 zrealizowanych recenzji), m.in. dla *IEEE Transactions on Cybernetics*, *Swarm and Evolutionary Computation*, *IEEE Computational Intelligence Magazine*, *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. Jest on również autorem jednej opinii wniosku o dofinansowanie projektu (Holenderska Fundacja Badań Naukowych).

Międzynarodowe i krajowe nagrody za działalność naukową. Wymienione przejawy aktywności naukowej Habilitanta sprawiają, że jest on osobą rozpoznawalną zarówno w krajowym, jak i międzynarodowym środowisku osób zajmujących się problematyką sztucznej inteligencji. Jego aktywność została zauważana, czego przejawem są m.in. trzy Granty Projakościowe Rektora Politechniki Śląskiej, nagroda Rady Społecznej Politechniki Śląskiej (w kategorii najlepszy pracownik), dwie nagrody i jedna nominacja *Best Paper Award* konferencji międzynarodowych, Nagroda im. Witolda Lipskiego dla młodych polskich naukowców.

Pozostała działalność naukowa. Warto zwrócić uwagę, że zainteresowania i aktywność naukowa Habilitanta, w okresie 2016-2020 r., wielokrotnie wykraczały poza tematykę recenzowanego cyklu publikacji. Spośród najważniejszych obszarów należy wyróżnić udział w badaniach:

- rozwiązywania złożonych problemów transportowych VRP,
- projektowania algorytmów dla optymalizacji dyskretnej,
- ewolucyjnego uczenia maszynowego,
- projektowania inteligentnego komputera pokładowego dla nano- i mikrosatelitów.

Dodatkowo należy podkreślić, że Habilitant jest współautorem dwóch patentów, uczestniczył w projektowaniu dwóch komercyjnych systemów informatycznych: Sens.AI, TexRAD, pełnił funkcje redaktora w czasopiśmie Sensors (wydawnictwo MDPI) i jednej angielskojęzycznej monografii (wydawnictwo Elsevier).

Tak duże spektrum aktywności naukowych potwierdza Jego wysokie kompetencje, jak również świadczy o Jego wszechstronności i samodzielności w prowadzeniu badań.

Podsumowując całościową ocenę dorobku naukowo-badawczego dra inż. Jakuba Nalepy stwierdzam, że dorobek ten spełnia wymagania stawiane w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych.

IV. Ocena dorobku dydaktyczno - organizacyjnego

Działalność dydaktyczna. Zdobyte doświadczenie zawodowe oraz prowadzona działalność badawcza są również wyraźnie widoczne w Jego aktywności dydaktycznej. Dr inż. Jakub Nalepa opracował materiały dydaktyczne dla zajęć (wykłady/laboratoria) z 7 przedmiotów (m.in. *Podstawy Programowania Komputerów, Obliczenia Równoległe, Algorytmy i Struktury Danych, Inżynieria Oprogramowania, itd.*), dla studentów, kierunków: *Informatyka* oraz *Informatics* (opracowane materiały mają swoje wersje w języku angielskim). Habilitant pełni również rolę opiekuna merytorycznego studentów I stopnia w ramach Indywidualnego Programu Studiów. Jest promotorem ukończonych 13 prac dyplomowych (4 magisterskich i 9 inżynierskich). Aktualnie pełni opiekę nad 10 pracami dyplomowymi (6 prac magisterskich i 4 inżynierskie). Habilitant rozpoczął także prace nad kształceniem kadry naukowej, podejmując funkcję promotora pomocniczego dwóch przewodów doktorskich realizowanych na Politechnice Śląskiej (Pablo Ribalta Lorenzo, Wojciech Dudzik) oraz dwóch doktoratów wdrożeniowych realizowanych we współpracy Polsko-Japońskiej Akademii Technik Komputerowych w Warszawie oraz KP Labs Sp. z o.o.

Działalność organizacyjna. W obszarze aktywności organizacyjnej, oprócz typowej działalności pracownika naukowo-dydaktycznego, na uwagę zasługuje Jego pozauczelniana aktywność związana z:

- prowadzeniem grupy Machine Learning Group (działającej w Future Processing Sp. z o.o.), której celem jest rozpowszechnianie wiedzy dotyczącej uczenia maszynowego,
- współorganizowaniem maratonu algorytmicznego Deadline 24 (2012-2018), organizacja warsztatów *International Workshop on Machine Learning in Intelligent and Collaborative Systems w ramach konferencji International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems*, INCoS (od 2018),
- kierowaniem pracami zespołu badawczego Politechniki Śląskiej w zakresie współpracy z firmą NVIDIA.

Ponadto Habilitant uczestniczył w pracach zespołów eksperckich Narodowego Centrum Badań i Rozwoju oraz realizował indywidualne ekspertyzy na potrzeby firm Blees Sp. z o.o. oraz Autonomous Systems Sp. z o.o.

Podsumowując tę część recenzji stwierdzam, że oceniany dorobek dydaktyczny i organizacyjny jest znaczny. Aktywność Habilitanta przejawia się poprzez silne zaangażowanie na rzecz popularyzacji nauki, o czym świadczy przygotowanie licznych zajęć dydaktycznych (również w języku angielskim), prac dyplomowych, a także udział w pracach zespołów eksperckich.

V. Wniosek końcowy

Biorąc pod uwagę cząstkowe podsumowania mojej recenzji, przedstawione na końcu części II, III i IV, w których stwierdziłem, że przedstawione osiągnięcie stanowi znaczący wkład

w rozwój dyscypliny naukowej informatyka techniczna i telekomunikacja, a aktywność organizacyjna i dydaktyczna Habilitanta spotyka się z uznaniem środowiska naukowego – uważam, że spełnia On wymagania stawiane kandydatom w postępowaniu habilitacyjnym.

W konsekwencji wnoszę o pozytywne zaopiniowanie przez Komisję Habilitacyjną wniosku o nadanie dr. inż. Jakubowi Nalepie stopnia doktora habilitowanego nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja.