

dr hab. Igor T. Podolak  
Wydział Matematyki i Informatyki  
Uniwersytet Jagielloński w Krakowie

20 marca 2022

## **Recenzja rozprawy habilitacyjnej pana dra Lecha Raczyńskiego "Digital signal and image processing in Jagiellonian Positron Emission Tomography"**

### **A. Uwagi wstępne**

Na materiały do przewodu habilitacyjnego pana dra Lecha Raczyńskiego składa się monografia "Digital signal and image processing in Jagiellonian Positron Emission Tomography" oraz siedem związanych z nią publikacji pierwszo-autorskich (patrz lista w rozdziale E. tej recenzji). Prace dotyczą metod przetwarzania danych powstających w projektowanym na Uniwersytecie Jagiellońskim skanerze Pozytonowej Tomografii Emisyjnej J-PET.

Podstawowe problemy rozważane w pracy to zagadnienia optymalizacji odtwarzania sygnałów z fotopowielaczy urządzenia J-PET, wyznaczania miejsca anihilacji pozytonów, optymalizacja rozdzielczości czasowej, klasyfikacja zdarzeń, oraz rekonstrukcja obrazu. Zasadniczymi metodami wykorzystywanymi przez autora są Compressive Sensing i metody regularyzacji Tikhonova dla rekonstrukcji zdarzeń rzadkich, oraz metody uczenia maszynowego dla klasyfikacji.

Autoreferat jest wyczerpujący i odpowiada zawartości pracy.

### **B. Omówienie prac**

Zasadniczo wszystkie zagadnienia ujęte w publikacjach z listy w sekcji E. znalazły swoje miejsce w monografii. Jedyna ważna część, która nie była wcześniej publikowana, dotyczy wykorzystania metod uczenia maszynowego dla klasyfikacji zdarzeń. Postaram

się omówić teraz skrótowo najważniejsze osiągnięcia pracy, zwracając szczególną uwagę na fragmenty związane z moimi zainteresowaniami i kompetencjami.

Na początku autor opisuje zasady działania tomografu J–PET (rozdział 2) zwracając uwagę na istotne wykorzystanie w nich plastikowych scyntylatorów, co wiąże się z koniecznością rozwiązania dodatkowych zagadnień w porównaniu do tradycyjnych urządzeń PET ze scyntylatorami krystalicznymi. Autor zaznacza podstawowe użyte później narzędzia (rozdział 3) i przechodzi do opisu konkretnych rozwiązań.

W rozdziale 4 omawia narzędzia przetwarzania nisko-poziomowego w J–PET. Najciekawszy wydaje mi się model sygnału w fotopowielaczach (także w pracy E.3). Drugim ważnym zadaniem jest wykorzystanie regularyzacji Tikhonova dla odtwarzania kształtu sygnału na podstawie małej liczby odczytów. Tu autor dochodzi do aproksymacji błędu rekonstrukcji ze względu na liczbę próbek (także w pracy E.6), co ma pozwolić, po przyjęciu dodatkowych założeń, na wybranie optymalnych parametrów dla rzeczywistej pracy urządzenia. Samo znalezienie aproksymacji nie wprowadza jednak nowych metod dowodowych. Szczególnie istotna jest część opisująca teoretyczną rozdzielczość czasową urządzenia (także praca E.3).

W rozdziale 5 autor omawia z kolei procedury wysoko-poziomowe przetwarzania odczytów z urządzenia J–PET. Składają się na nie dwa elementy: klasyfikacja zdarzeń odczytanych w jednym okienku czasowym oraz rekonstrukcja obrazu.

Do klasyfikacji zdarzeń autor proponuje samo-organizujące się mapy Kohonena SOM. Oryginalny sygnał jest 6-wymiarowy, mapa SOM 2-wymiarowa, więc oznacza to redukcję wymiarowości. Klasyfikacja prawdopodobnie następuje poprzez etykietowanie neuronów mapy SOM najczęściej związanymi z nimi przykładami. Nie jest to wprost powiedziane, można się jedynie domyślać na podstawie doświadczeń w rozdziale 6. Dokładność metody jest określana na 0.777, przy czym losowa skuteczność to 0.601 (taka jest frakcja przykładów jedynej interesującej klasy), więc zysk nie jest wielki. Autor porównuje, w rozdziale 6, wyniki mapy SOM jedynie z algorytmem LDA. Wydaje mi się, że wybór metody SOM jest przypadkowy i nieuzasadniony. Czy, na przykład, wielowarstwowe sieci neuronowe albo model SVM (jako dający teoretyczne ograniczenia na błąd generalizacji) nie dawałyby dobrych wyników? Właściwa klasyfikacja jest 2-klasowa, gdyż z trzech klas tylko jedna jest istotna. Czemu nie rozwiązywać, prawdopodobnie prostszego, problemu klasyfikacji binarnej? Nie jest też jasne, czy podane wyniki dotyczą zbioru trenującego mapę SOM, czy też walidacyjnego. Byłby to poważny błąd metodologiczny gdyby wyniki były dla zbioru trenującego. Alternatywnie, jest to błąd w trakcie pisania monografii. W rozdziale 6, opisującym eksperymenty, brakuje pokazania jak wiele wykorzystanie klasyfikacji zdarzeń z użyciem SOM dało dla końcowej rekonstrukcji, ponieważ autor rozpatruje wyniki niezależnie od siebie.

Drugim elementem tego rozdziału jest zdefiniowanie metod rekonstrukcji obrazu z wykorzystaniem metod regularyzacji (także w pracy E.1). Porównanie z modelami Likelihood Expectation Maximization pokazuje lepszą skuteczność zaproponowanego modelu.

Rozdział 6 opisuje wykorzystanie opisanych metod w eksperymentach z użyciem prototypu urządzenia J–PET oraz symulacji (wyniki także opisane w pracach E.1, E.2, E.5). Eksperymenty wykazują przydatność wyników teoretycznych i ich zgodność

z modelem eksperymentalnym. Wyniki pracy są więc istotne.

Podsumowując, monografia opisuje problemy przetwarzania danych, nisko- i wysoko-poziomowego, dla urządzenia J–PET, szczególnie istotne ze względu na jego charakterystyki fizyczne. Zespół związany z projektem J–PET jest duży, stąd wszystkie, poza jedną, publikacje wymienione jako związane z monografią mają po 30 i więcej autorów. Wszystkie te, w których dr Lech Raczyński jest pierwszym autorem są jednak związane z przetwarzaniem danych dla J–PET, co ustala chyba jego rolę w projekcie.

### **C. Pozostały dorobek**

Większość dorobku autora związana jest z udziałem w projekcie J–PET, co jest zrozumiałe. Stąd dość wysoki indeks Hircha wynoszący 19, gdyż jest współautorem wielu innych publikacji w projekcie. Według dokumentacji autor był kierownikiem w jednym projekcie badawczym, wykonawcą w kilku. Jest jednocześnie członkiem zespołu NCBiR dotyczącego bezpieczeństwa. Wydaje się więc, że pan dr Raczyński jest aktywnym badaczem.

### **D. Konkluzje**

Wyniki zawarte w monografii, poza wykorzystaniem modelu SOM do klasyfikacji zdarzeń, zostały wcześniej opublikowane w siedmiu artykułach, w których dr Lech Raczyński był pierwszym autorem. W dokumentacji brak jednak oświadczeń współautorów o zakresie ich udziału. Zastanawiają stosunkowo niskie punktacje MNiSW oraz impact factors IF tych czasopism. Patrząc na punktację w roku 2022 mają one wszystkie po 70 punktów MNiSW, a najwyższy IF dla dwóch czasopism przekracza wartość 2.5, podczas gdy reszta ma ten wskaźnik w okolicach 1.0. Jako informatyk spodziewałbym się wyższych wartości, jednak trudno mi jednoznacznie powiedzieć, jakich należałoby oczekiwać w dziedzinie fizyki doświadczalnej.

Wyniki przedstawione w monografii wydają się, według mojej najlepszej wiedzy, ważne dla rozwoju projektu J–PET. Najslabszym punktem jest chyba model oparty na uczeniu maszynowym, co jest akurat elementem moich kompetencji.

Konkludując, uważam, że dorobek pana dra Lecha Raczyńskiego jest interesujący, ważny dla rozwoju metod przetwarzania sygnałów dla zastosowań w fizyce doświadczalnej. Te dokonania spełniają zwyczajowe i ustawowe wymagania stawiane rozprawom habilitacyjnym.

W związku z tym stawiam wniosek o dopuszczenie pana dra Lecha Raczyńskiego do następnych etapów postępowania habilitacyjnego.

## E. Lista związanych prac

Z monografią ściśle związanych jest siedem prac, w których dr Raczyński jest jedynym lub pierwszym autorem.

1. L. Raczyński *et al.*, 3-D TOF-PET image reconstruction using Total Variation regularization, *Physica Medica* 80, 230–242 (2020),
2. L. Raczyński, 3D reconstruction of point-like sources in a J–PET scanner using total variation regularization, *Acta Physica Polonica B* 51, 175–180 (2020),
3. L. Raczyński *et al.*, Calculation of the time resolution of the J–PET tomograph using kernel density estimation, *Physics in Medicine & Biology* 62, 5076–5097 (2017),
4. L. Raczyński *et al.*, Introduction of Total Variation regularization into filtered backprojection algorithm, *Acta Physica Polonica B* 48, 1611–1618 (2017),
5. L. Raczyński *et al.*, Application of the compress sensing theory for improvement of the TOF resolution in a novel J–PET instrument, *Nukleonika* 61, 35–39 (2016),
6. L. Raczyński *et al.*, Compressive sensing of signals generated in plastic scintillators in a novel J–PET instrument, *Nuclear Instruments and Methods a* 786, 105–112 (2015),
7. L. Raczyński *et al.*, Novel method for hit-position reconstruction using voltage signals in plastic scintillators and its application to Positron Emission Tomography, *Nuclear Instruments and Methods a* 764, 186–192 (2014).

Z uszanowaniem,

