

Prof. dr hab. inż. Piotr Augustyniak
Katedra Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej
Akademia Górniczo-Hutnicza
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
august@agh.edu.pl

Kraków, 13. 07. 2023

Rada Naukowa Dyscypliny
INFORMATYKA TECHNICZNA
I TELEKOMUNIKACJA
Sekretariat
Data wpływu...19.07.2023r.
Numer.....

Recenzja

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pana magistra inżyniera Szymona Busia zatytułowana: "Zastosowanie statystyk opartych na różnicach między kolejnymi odstępami RR w detekcji migotania przedsionków z wykorzystaniem metod uczenia maszynowego". Recenzja jest sporządzona na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Warszawskiej na podstawie uchwały nr 473/2023 z dnia 23.05.2023 i przedstawiona pismem z dnia 10.07.2023. Recenzowana rozprawa została napisana w 2023 roku pod kierownictwem pana dr. hab. inż. Konrada Jędrzejewskiego.

1. Zawartość rozprawy

Przedstawiona rozprawa jest napisana w języku polskim i składa się z Wprowadzenia, 4 rozdziałów, Podsumowania i spisu bibliograficznego. Wstęp poprzedzają podziękowania oraz spis treści i wykaz skrótów. We wstępie autor przedstawia sformułowanie problemu badawczego, nakreśla cel i tezy dowodzone przez badania opisywane w rozprawie, wymienia najważniejsze elementy wkładu własnego i prezentuje układ pozostałej części rozprawy.

W rozdziale drugim opisano epidemiologię i pojęcia dotyczące migotania przedsionków. Znajdują się tam podstawowe informacje na temat elektrokardiografii, opis migotania przedsionków (AF), metod analizy zmienności rytmu serca (HRV) oraz dwóch aktualnie stosowanych i rozwijanych metod wykrywania AF. Przeprowadzone badania istniejącego stanu nauki w zakresie metod automatycznej detekcji AF Autor przedstawia w formie tabeli. Rozdział trzeci, 'warsztatowy', jest poświęcony omówieniu metod analizy statystycznej i uczenia maszynowego wykorzystanych w prezentowanych badaniach. Opisano tu testy diagnostyczne stosowane w medycynie oraz sposoby oceny ich wyników. Zwraca uwagę opis rzadziej wykorzystywanego diagnostycznego ilorazu szans, który w dalszych rozważaniach okazuje się bardzo przydatny. Przedstawiono wybrane algorytmy uczenia maszynowego służące do klasyfikacji oraz do selekcji cech, a także sposoby oceny modeli uczenia maszynowego.

W rozdziale czwartym przedstawiono analizy właściwości diagnostycznych parametrów HRV w zastosowaniu do detekcji AF. W pierwszej części rozdziału przedstawiono wyniki analizy standardowych parametrów HRV, w drugiej – grupę parametrów pRRx, a w trzeciej – grupę parametrów pRRx%. Wbrew praktyce medycznej, zliczanie względnych zmian pRRx% wydaje się lepsze, gdyż uniezależnia wynik statystyczny od rytmu serca. Ostatnia, czwarta część przedstawia wyniki badań wpływu długości analizowanego epizodu AF na właściwości diagnostyczne parametrów HRV zastosowanych do detekcji migotania przedsionków.

W rozdziale piątym przedstawiono i omówiono wyniki przeprowadzonych przez Autora badań dotyczących detekcji AF przy użyciu modeli uczenia maszynowego wykorzystujących

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Szymona Busia

parametry HRV. Wyniki analiz opisane w rozdziale 4 posłużyły do wstępnej selekcji parametrów HRV używanych w modelach uczenia maszynowego. W szczególności wybrano parametry z grup pRRx i pRRx% pozwalające na najbardziej efektywne różnicowanie AF i rytmu zatokowego (normalnego). W rozdziale piątym przedstawiono także wyniki badań wpływu różnych czynników, takich jak liczba parametrów HRV jednocześnie uwzględnianych przez model i długość analizowanego epizodu AF na skuteczność jego detekcji.

Rozprawę zamyka podsumowanie zawierające wnioski, odniesienie do postawionych tez badawczych oraz krytyczną analizę ograniczeń proponowanych metod i proponowane kierunki dalszych badań. Rozprawa zawiera spis bibliograficzny, w którym uwzględniono wszystkie najważniejsze doniesienia istotne dla prowadzonych badań: 128 pozycji, w tym 8, których pierwszym autorem jest Kandydat.

2. Znaczenie dokonań Autora dla rozwoju dyscypliny

Z radością witam podjęcie przez Kandydata tematyki detekcji AF. Jest to tematyka ważna zarówno ze względu na rozpowszechnienie się AF w starzejącym się społeczeństwie (struktury zapewniające prawidłowy automatyzm serca nie nadążają za wzrastającą długowiecznością człowieka), jak i ze względu na następstwa: (1) podczas AF wydajność serca jest gorzej kontrolowana przez autonomiczny system nerwowy (ANS), a do tego (2) w nieregularnie kurczących się przedsionkach dochodzi do powstawania skrzepów krwi, które mogą być przyczyną zatorów zarówno mózgu jak i serca a w ostrej postaci prowadzić do nagłego zgonu. Ciekawe, że wykorzystując metodykę analizy HRV standardowo używaną dla oceny rywalizacji pobudzania i hamowania rytmu serca przez ANS, Kandydat zaproponował skuteczny detektor AF oparty jedynie na interwałach międzyuderzeniowych. W stosunku do konkurencyjnej metody, w której Kandydat także ma własne dokonania, bazującej na odtwarzaniu fali migotania, zaproponowana metoda ma dwie zasadnicze zalety: (1) jest oparta na łatwych do detekcji załawkach R i (2) jest możliwa do zaadaptowania w nieelektrycznych pomiarach tętna takich jak fotopletyzmoграфия. Najważniejszymi osiągnięciami Autora rozprawy są:

- Wyniki analizy właściwości statystycznych i diagnostycznych rodzin parametrów pRRx i pRRx% na potrzeby detekcji AF w sygnale EKG i wskazanie optymalnych parametrów w obrębie każdej z rodzin.
- Wyniki analizy właściwości standardowych parametrów HRV na potrzeby detekcji AF i wskazanie jak właściwości te zależą od długości epizodu AF.
- Zbadanie wpływu liczby parametrów HRV użytych w modelach uczenia maszynowego na wyniki detekcji migotania przedsionków.
- Przeprowadzenie analizy wpływu zastosowania parametrów pRRx% i pRRx w modelach uczenia maszynowego do detekcji AF i wykazanie poprawy efektywności detekcji wynikającej z ich zastosowania.

Podczas realizacji badań Autor opracował i zaimplementował autorskie oprogramowanie automatyzujące przeprowadzane analizy. Część oprogramowania służąca do analizy właściwości parametrów pRRx i pRRx% (wraz z kodem źródłowym w języku Python) została udostępniona jako publiczne repozytorium otwierając drogę przyszłym zespołom badawczym. Rozprawa ma charakter implementacyjny, a przeprowadzone badania mogą przynieść konkretne zastosowania praktyczne.

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Szymona Busia

Rozprawa prezentuje szeroką wiedzę jej autora dotyczącą zagadnień związanych z elektrofizjologią serca oraz statystyką. Cztery problemy wymienione powyżej jako najważniejsze osiągnięcia są zagadnieniami badawczymi, dla których autor znalazł oryginalne rozwiązanie. Ponadto, stanowczo dobrym pomysłem jest wykorzystanie innej bazy w roli ucząco-walidacyjnej, a innej w roli testowej. Jestem głęboko przekonany, że badania prowadzone we wskazanych przez Kandydata kierunkach: (1) detekcji większej liczby typów arytmii i (2) transfer części doświadczeń do dziedziny nieelektrycznych pomiarów tętna upowszechnią regularne analizy przesiewowe i umożliwią na tyle wczesne wykrywanie sytuacji sprzyjającej tworzeniu się skrzepów żeby zapobiec ryzyku zatorów. Warto zauważyć, że prace naukowe Kandydata, także te, stanowiące główny temat rozprawy były przedmiotem publikacji naukowych w czasopismach o zasięgu światowym oraz wystąpień na konferencjach międzynarodowych.

Główne osiągnięcia Autora idealnie wpisują się w dyscyplinę inżynieria biomedyczna, w której uznałbym je za znaczące. Można je także uznać za znaczące w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja (zgodnie z otrzymanym zleceniem), w której lokowane są rozmaite zastosowania informatyki, w tym niekiedy medyczne.

3. Zagadnienia do dyskusji

Rozprawa w zasadzie nie ma dostrzegalnych mankamentów. Za najpoważniejszy uważam (str. 39) Decyzję o wykorzystaniu oznaczeń załamków R z baz danych. Kardiologiczne bazy danych nie były konstruowane z myślą o dokładności wykrywania załamków R. Z praktyki wiadomo, że wskazywane punkty, odpowiadające pozytywnym detekcjom nieraz różnią się od maksimum R, poza tym, punkt max R może wypadać w różnych chwilach w jednoczasowych odprowadzeniach, różnica zależy m. in. od analizowanych odprowadzeń i morfologii (dla morfologii nadkomorowej to nie będzie miało znaczenia). Decyzja ta, moim zdaniem błędna niesie za sobą szereg konsekwencji, o których M. IN. chciałbym podyskutować na obronie::

- (str. 21): Parametry diagnostyczne HRV różnią się między sobą złożonością obliczeniową, co jest istotne w zastosowaniach nasobnych przy dużej liczbie interwałów RR; szkoda, że w Tab. 2.1 nie znalazło się oszacowanie złożoności, może Autor zechciałby zaprezentować uzupełnioną tabelę na obronie?
- (str. 52): Baza LTAFDB jest próbkowana z okresem 7.8125 ms, co przy rytmie 72 bpm (czyli okresie 833 ms) stanowi 0,94% interwału międzyuderzeniowego. Jaki jest zatem sens wyznaczania serii względnych progów zliczania z krokiem 0,25% ? Poproszę o analizę błędu związanego z kwantyzacją interwału próbkowania i jego wpływu na wyznaczanie interwału międzyuderzeniowego i dokładność zliczeń.
- (str. 61): Wśród parametrów (rys. 4.26 i nast.) można wyróżnić takie, które stabilizują się po 90 s długości sygnału i pozostałe (w tym pRR3.25), które nadal wzrastają. Czy ten wzrost nie jest spowodowany kwantyzacją interwału próbkowania? Moim zdaniem wzrost związany z długością sygnału wynika z większej liczby różnych wartości interwałów i bardziej statystycznym rozkładem ich dopasowania do progów zliczeń. Poproszę o przedstawienie zdania Autora.
- (str. 81) Dlaczego Autor, pierwotnie dostrzegając korelację w zbiorze cech używanych do detekcji migotania przedsionków, nie utworzył nowego zbioru cech, w którym

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Szymona Busia

korelacja byłaby ograniczona (np. metodą PCA); użycie mniejszej liczby prawie niezależnych cech mogłoby poprawić wynik klasyfikacji.

- (str. 84) Nie ma tabelki odpowiadającej ładnym wykresom (rys. 5.24 i nast.), a szkoda, tym niemniej wydaje się, że w niektórych konfiguracjach parametrów wydłużenie analizowanego zapisu przynosi gorsze wartości parametrów, poproszę o komentarz, ew. wskazanie prawdopodobnej przyczyny.

Pozostałe komentarze i uwagi:

- Pod względem edytorskim praca napisana jest poprawnym językiem polskim, usterki językowe zdarzają się, ale są rzadsze niż w innych podobnych pracach (przykłady: str. 20, 6 linia od dołu 'przybliżona' zamiast 'przybliżoną'; str. 90, 3 linia od dołu 'efektywność' zamiast 'efektywności'. Kilkakrotnie (np. str. 21 w Tab. 2.1) użyto kropki zamiast przecinka w roli separatora dziesiętnego. W przedostatnim wierszu Tab. 2.1 zamiast 'very low frequency' powinno być 'high frequency'.
- Staranność i przejrzystość rysunków stanowczo należą do mocnych stron rozprawy.
- Na str. 17 można było opisać dokładniej, że migotanie przedsionków tworzy powtarzającą się i nieregularną akcję szybkiej depolaryzacji przedsionków i losowe przewodzenie pobudzeń do komór. Z opisu tego mechanizmu dobitnie wynika, że zaproponowana metoda może być (i jest) skuteczna.
- Na str. 19 przydałoby się wyjaśnienie, że HRV stosowana do oceny wpływu autonomicznego systemu nerwowego na rytm serca posługuje się pojęciem pNN (uwzględniając odstępy jedynie pomiędzy pobudzeniami zatokowymi), natomiast jej użycie do analizy arytmii takich jak AF powoduje uwzględnienie wszystkich pobudzeń, czyli pRR.
- Na str. 34. Oprócz redundancji autorzy klasyfikatorów wyróżniają i chętnie wybierają cechy bezparametrowe, czyli takie, które nie wymagają tuningu, co uniezależnia je od zbioru uczącego
- Na str. 39. W pracy nie poruszono problemu zrównoważenia baz danych (balancing), ale baza AFDB jest tylko nieznacznie niezrównoważona.
- Na str. 93. Skrót PWV oznacza prędkość fali tętna, poza tym trudności rejestracji i szereg czynników oddziałujących pomiędzy aktywnością elektryczną serca a falą tętna sprawia, że perspektywy zastosowania PPG w detekcji arytmii nie są, moim zdaniem, aż tak optymistyczne, jak przedstawia Autor.

Wymienione zagadnienia dyskusyjne i pozostałe uwagi nie umniejszają osiągnięcia naukowego, a moje spostrzeżenia formułuję tu przede wszystkim w celu wykorzystania ich przez Kandydata do poprawy Jego przyszłych publikacji.

4. Wniosek końcowy

Kandydat poprawnie sformułował i rozwiązał problem naukowy istotny z punktu widzenia potencjalnych zastosowań badań elektrofizjologicznych serca i komputerowych metod wsparcia prewencji zatorów tętnicznych mózgu i serca. Uczestniczył w pracach interdyscyplinarnej grupy badawczej, w wyniku których wspólnie opublikował szereg prac w czasopiśmie o zasięgu światowym. Siedmiokrotnie był pierwszym autorem, co zwyczajowo sugeruje, że publikowane badania opierały się na jego propozycjach. Do rozwiązania postawionego problemu Autor stosuje przede wszystkim narzędzia

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Szymona Busia

informatyczne, dzięki czemu jego osiągnięcie może być zaliczone do dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja.

Przedstawiona rozprawa doktorska zatytułowana: „Zastosowanie statystyk opartych na różnicach między kolejnymi odstępami RR w detekcji migotania przedsionków z wykorzystaniem metod uczenia maszynowego”, spełnia wszystkie wymagania Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478) Art. 186 i 187 w zakresie nadawania stopnia naukowego doktora. Recenzent wnioskuje do Komisji **o dopuszczenie rozprawy doktorskiej pana mgr. inż. Szymona Busia do publicznej obrony.**

