

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ MGR INŻ. ADAMA SZCZURA PT. *WYBRANE METODY KONSTRUKCJI KLASYFIKATORÓW DLA DANYCH TEMPORALNYCH*

dr hab. inż. prof. KUL Krzysztof Pancerz
Instytut Informatyki, Wydział Nauk Społecznych i Technicznych
Katolicki Uniwersytet Lubelski Jana Pawła II

Lublin, 19 sierpnia 2026 r.

1 Wprowadzenie

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Adama Szczura powstała w ramach postępowania o nadanie stopnia doktora wszczętego w dyscyplinie Informatyka Techniczna i Telekomunikacja w Instytucie Informatyki Uniwersytetu Rzeszowskiego. Rozprawa napisana została w języku polskim. Rozprawa liczy 128 stron. Właściwa część rozprawy składa się ze wstępu (Rozdział 1), pięciu głównych rozdziałów (Rozdziały 2 - 6) oraz podsumowania (Rozdział 7). W rozprawie, oprócz spisu treści, umieszczony został wykaz bibliografii. Szczegółowe uwagi dotyczące poszczególnych części rozprawy podane są w dalszej części recenzji. W ogólności, tematyka badań Autora dotyczyła klasyfikacji danych temporalnych. Ten obszar badań pozostaje cały czas aktualny, przede wszystkim w kontekście sztucznej inteligencji, a w szczególności w kontekście uczenia maszynowego. Zaproponowane przez Autora w rozprawie metody konstrukcji klasyfikatorów w postaci drzew decyzyjnych dla danych temporalnych wspomagają procesy podejmowania decyzji w oparciu o czytelne dla człowieka modele klasyfikacyjne. Tematyka pracy wpisuje się w obszar badań dotyczących tzw. wyjaśnialnej sztucznej inteligencji, który jest istotny w niektórych zastosowaniach, np. w zastosowaniach medycznych. Z tego punktu widzenia, zakres zrealizowanych badań oraz ich dalszy rozwój są istotnymi elementami przyczyniającymi się do rozwoju uczenia maszynowego, a w ogólności do rozwoju sztucznej inteligencji.

2 Ocena poszczególnych części rozprawy

Rozdziały główne rozprawy podzielone zostały na trój-poziomową strukturę podrozdziałów. Dzięki takiemu podziałowi, układ pracy, z punktu widzenia rozdziałów, jest czytelny. Ogólna struktura rozprawy jest przemyślana i przejrzysta, a treści prezentowane w poszczególnych rozdziałach układają się w systematyczny i logiczny wywód naukowy, co świadczy o dobrym warsztacie metodologicznym Autora.

2.1 Ocena rozdziału 1

We wstępie do rozprawy (rozdział 1), Autor przedstawił problem eksploracji danych i ich klasyfikacji, w szczególności klasyfikacji danych temporalnych, motywację podjęcia badań w zakresie budowy klasyfikatorów w postaci drzew decyzyjnych dla danych temporalnych, cel rozprawy, zakres tematyczny rozprawy, główne wyniki rozprawy oraz jej strukturę. Autor odniósł się do wcześniejszych badań w zakresie przetwarzania i analizy danych temporalnych. W szczególności, Autor zwrócił uwagę na termin *pojęcie temporalne*, które odpowiada terminowi *pojęcie* w przypadku danych statycznych.

Uwagi merytoryczne do rozdziału 1:

1. Autor nie podał jak formalnie rozumie terminy *dane*, *informacja* i *wiedza*, które używa w rozprawie, w różnych jej miejscach.
2. Autor, w sposób dosyć dowolny, używa terminów *pomiar*, *obserwacja* i *zdarzenie*. Terminy te nie są synonimami.
3. Autor nie podał jak formalnie rozumie użyty termin *klasyczna tablica decyzyjna*.
4. W podrozdziale 1.3, Autor wymienił sieci rekurencyjne oraz sieci konwolucyjne jako modele zdolne do przetwarzania danych sekwencyjnych, w szczególności danych temporalnych. Aktualnie, należałoby również koniecznie wymienić transformery jako popularne modele zdolne do przetwarzania danych sekwencyjnych, w szczególności danych temporalnych.

Uwagi techniczne do rozdziału 1:

1. Autor wprowadził w podrozdziale 1.3 nazwy opracowanych na potrzeby rozprawy metod do budowy drzew decyzyjnych dla danych temporalnych, tj. *TC-Tree* oraz *VTC-Tree*. W nazwach tych pojawiły się akronimy *TC* oraz *VTC*, które powinny zostać w tym miejscu objaśnione, gdyż jest to pierwsze ich użycie. Autor umieścił objaśnienie tych akronimów dopiero w podrozdziale 1.4.

2.2 Ocena rozdziału 2

W rozdziale 2, Autor przedstawił podstawy teoretyczne zagadnień rozważanych w rozprawie. W szczególności podstawy te dotyczą:

1. Wiedzy w klasyfikacji danych.
2. Pojęć i ich aproksymacji.
3. Zbiorów danych i ich reprezentowania.
4. Podstawowych metod tworzenia klasyfikatorów, w szczególności drzew decyzyjnych.
5. Podstawowych metod oceny jakości klasyfikatorów.

Należy zwrócić uwagę na syntetyczną formę przedstawionych zagadnień. Autor przedstawił tylko te zagadnienia, które odnoszą się do zagadnień poruszanych w kolejnych rozdziałach rozprawy.

Uwagi merytoryczne do rozdziału 2:

1. W podrozdziale 2.1, Autor stwierdził, że momenty czasu mogą być rozumiane jako obiekty w systemach informacyjnych w sensie Z. Pawlaka. Stwierdzenie to nie jest zgodne z tym co Autor rozważał w rozprawie. Momenty czasu traktowane są w rozprawie jako dodatkowy atrybut w systemie informacyjnym. W ogólności, czas w danych temporalnych jest wymiarem, który nie jest opisywany zbiorem cech i nie traktuje się go jako obiektu.
2. W podrozdziale 2.2, Autor podał definicję okna czasowego (definicja 2.6). Definicja ta nie jest precyzyjna. Autor stwierdza, że okno czasowe to dowolna sekwencja obiektów. Brakuje jednoznacznego stwierdzenia, że sekwencja ta zawiera wiersze w tabeli z kolejnych, następujących po sobie, chwil czasowych dla obiektu o danym identyfikatorze. Tego faktu można domyśleć się tylko z przedstawionych warunków.
3. Na str. 18, Autor zapisał wyrażenie $A \setminus a_{id}$. Zapis ten nie jest prawidłowy. Zwyczajowo, symbol $\setminus$ oznacza różnicę zbiorów, więc prawidłowym zapisem jest $A \setminus \{a_{id}\}$.
4. Użyte przez Autora terminy *okno czasowe o pełnym rozmiarze* oraz *pełne okno czasowe* nie są terminami precyzyjnymi. Powinny zostać użyte terminy *okno czasowe o maksymalnym rozmiarze* oraz *maksymalne okno czasowe*.
5. Użyte przez Autora oznaczenie $W_t(\text{TSI})$ dla rodziny wszystkich okien czasowych o maksymalnym rozmiarze jest nieprecyzyjne. Indeks dolny t sugeruje czas, podczas gdy rodzina wszystkich okien czasowych nie zależy od wybranej chwili czasowej.
6. W podrozdziale 2.2, Autor podał definicję temporalnego systemu informacyjnego (definicja 2.5). Autor nie zaznaczył, że jest to jedna z możliwych definicji i że w literaturze rozważane były również inne definicje dotyczące temporalnych systemów informacyjnych lub, w ogólności, sekwencyjnych, dynamicznych lub tranzycyjnych systemów informacyjnych, np.:
 - Suraj, Z., Pancerz, K., Świniarski, R.W.: *Prediction of Model Changes of Concurrent Systems Described by Temporal Information Systems. Proc. of the 2005 International Conference on Data Mining (DMIN'2005)*,
 - Pancerz, K.: *Extensions of Multistage Decision Transition Systems: the Rough Set Perspective. Man-Machine Interactions. Advances in Intelligent and Soft Computing, Vol. 59, 2009, pp. 209-216*,
 - Pancerz, K., Paja, W., Wrzesień, M., Warchoń, J.: *Classification of Voice Signals through Mining Unique Episodes in Temporal Information Systems: A Rough Set Approach. Proc. of CS&P 2012*.
7. W podrozdziale 2.3, Autor stwierdził, że algorytmy budowy klasyfikatorów różnią się m.in. szybkością uczenia się i klasyfikacji, złożonością obliczeniową (czasową i pamięciową), jakością klasyfikacji. Przede wszystkim, Autor powinien był wskazać, że algorytmy budowy klasyfikatorów różnią się zasadami działania (wykorzystywanymi podejściami), a wymienione cechy są pochodnymi wykorzystanych podejść. Poza tym, nie jest prawdą, że algorytmy budowy klasyfikatorów różnią się jakością klasyfikacji. Jakość klasyfikacji nie jest immanentną cechą algorytmu. Jakość klasyfikacji wyznaczana jest dla konkretnych danych wykorzystywanych do budowy danego klasyfikatora.

8. W podrozdziale 2.3, Autor stwierdził, że regresja logistyczna jest klasyfikatorem liniowym. Stwierdzenie to nie jest precyzyjne, nie jest bowiem jasne w jakim sensie Autor rozumie liniowość. Sama funkcja logistyczna nie jest funkcją liniową.
9. W podrozdziale 2.3.1, Autor stwierdził, że podstawowa struktura procesów budowy drzew decyzyjnych w różnych algorytmach jest podobna i że jednym z podobieństw jest wykorzystanie wybranego cięcia do rozdzielania obiektów na dwa podzbiory. Nie jest to prawda, gdyż niektóre algorytmy budują drzewa decyzyjne niebinarne.
10. W podrozdziale 2.4, Autor stwierdził, że celem oceny klasyfikatorów jest określenie jak dobrze klasyfikatory uogólniają się na nowych, niewidzianych danych. Nie jest to prawda, gdyż operacja uogólniania, jeśli można ją tak nazwać, realizowana jest w procesach trenowania na znanych zbiorach. Przy testowaniu na nowych, niewidzianych danych, klasyfikatory już się nie uogólniają. Na ile klasyfikatory są uogólnione, zależy to od procesów trenowania.

Uwagi techniczne do rozdziału 2:

1. W podrozdziale 2.1, Autor zdefiniował sposoby reprezentowania zbiorów danych w postaci tabelarycznej. Autor użył terminów *system informacyjny* i *tablica decyzyjna*, przy czym tablica decyzyjna jest szczególnym przypadkiem systemu informacyjnego. Takie użycie terminów powoduje brak jednolitości terminologii. Wskazane byłoby używanie terminów *system informacyjny* i *system decyzyjny* albo *tablica informacyjna* i *tablica decyzyjna*.
2. W podrozdziale 2.3, Autor użył terminów *zmienna objaśniająca* oraz *zmienna celu*. Użycie tych terminów powoduje brak jednolitości terminologii. We wcześniejszych podrozdziałach Autor używał terminów *atrybut warunkowy* oraz *atrybut decyzyjny*.
3. W podrozdziale 2.3.1, Autor przedstawił prostą tablicę decyzyjną o nazwie *WeatherPlay*. Autor nie umieścił informacji czy tablica ta zapożyczona została z literatury, czy też została przez niego zdefiniowana.
4. W algorytmie 2.1, Autor użył oznaczenia *DT* dla drzewa decyzyjnego. Wcześniej, Autor wprowadził to oznaczenie dla tablicy decyzyjnej. Powoduje to niejednoznaczność oznaczeń.
5. W podrozdziale 2.5, Autor błędnie oznaczył we wzorze parametr *false negative rate*. Powinno być *FNR* zamiast *FPR*.

2.3 Ocena rozdziału 3

W rozdziale 3, Autor przedstawił zagadnienia dotyczące klasycznych podejść do aproksymacji pojęć czasowych oraz tworzenia klasyfikatorów dla pojęć czasowych. W szczególności zagadnienia te dotyczą:

1. Reprezentowania czasu w danych.
2. Konstrukcji okien czasowych.
3. Opisu wzorców czasowych.

4. Definiowania pojęć czasowych.

5. Aproksymacji pojęć czasowych.

Tak jak w przypadku rozdziału 2, należy zwrócić uwagę na syntetyczną formę przedstawionych zagadnień. Autor przedstawił tylko te zagadnienia, które odnoszą się do zagadnień poruszanych w kolejnych rozdziałach rozprawy.

Uwagi merytoryczne do rozdziału 3:

1. W podrozdziale 3.2, Autor pominął rozważane w literaturze inne definicje dotyczące temporalnych systemów informacyjnych lub, w ogólności, sekwencyjnych, dynamicznych lub tranzycyjnych systemów informacyjnych (wspomniano o tym przy ocenie rozdziału 1 w niniejszej recenzji).
2. W podrozdziale 3.3, Autor, wymieniając strategie definiowania okien czasowych rozważane w literaturze, pominął inkrementalne okna czasowe (okna powiększane są o dane z kolejnych chwil czasowych, przy zachowaniu całej historii, tj. od danych z pierwszej chwili czasowej).
3. W podrozdziale 3.7, Autor, wymieniając strategie aproksymacji pojęć czasowych rozważane w literaturze, pominął podejścia oparte o przybliżone grafy przepływu (grafy przepływu Z. Pawlaka), np.:
 - Suraj, Z., Pancierz, K.: *Flow Graphs as a Tool for Mining Prediction Rules of Changes of Components in Temporal Information Systems*. In: *Proceedings of the 2nd International Conference on Rough Sets and Knowledge Technology (RSKT'2007)*.
 - Lewicki, A., Pancierz, K., Puzio, L.: *The temporal inference with the use of ant-based clustering algorithm and flow graphs in the problem of prognosing complications of medical surgical procedures*. *Human Technology*, Vol. 17 (3), 2021, pp. 213-234.

Brak jest uwag technicznych do rozdziału 3.

2.4 Ocena rozdziału 4

W rozdziale 4, Autor przedstawił zagadnienia dotyczące aproksymacji pojęć czasowych opartej o drzewa decyzyjne z cięciami temporalnymi (TC-Tree). W szczególności zagadnienia te dotyczą:

1. Motywacji opracowania nowej metody generowania drzew decyzyjnych dla danych temporalnych (drzew decyzyjnych z cięciami temporalnymi).
2. Algorytmów generowania oraz wykorzystania drzew decyzyjnych z cięciami temporalnymi.
3. Wyników eksperymentów klasyfikacji danych rzeczywistych przeprowadzonych z użyciem zaproponowanego podejścia oraz podejść referencyjnych (klasycznych metod klasyfikacji oraz metod klasyfikacji opartych o uczenie głębokie dla danych temporalnych).

Rozdział 4 zawiera opis nowej metody zaproponowanej przez Autora stanowiącej jedno z głównych osiągnięć przygotowanej rozprawy doktorskiej. Należy zwrócić uwagę na logiczną konstrukcję tego opisu według schematu: opis motywacji, opis przygotowania danych, opis metod generowania i testowania modeli, opis i dyskusja wyników eksperymentów z użyciem wygenerowanych modeli.

Uwagi merytoryczne do rozdziału 4:

1. W podrozdziale 4.2, Autor we wzorach na wzorce czasowe użył wyrażenia $card(u \in w)$. Zapis ten nie jest prawidłowy. Zwyczajowo, $card$ oznacza liczbę kardynalną zbioru, więc prawidłowym zapisem jest $card(\{u : u \in w\})$. Poza tym, Autor zaproponował w rozprawie inny symbol należenia obiektu do okna czasowego, tj. $u \sqsubset w$ (rozdział 2.2).
2. W podrozdziałach 4.2 - 4.4, Autor przywołał temporalną tablicę decyzyjną TDT_t bez zbioru obiektów U , podczas gdy w jej definicji ten zbiór występował (definicja 2.8).
3. W algorytmie 4.1, Autor zaproponował sortowanie punktów czasowych względem wybranego atrybutu, a następnie względem identyfikatorów obiektów. Szkoda, że Autor nie wyjaśnił potrzeby wykonania takiego sortowania na prostym przykładzie. Przedstawiony opis słowny nie uzasadnia takiej potrzeby.
4. W algorytmie 4.3, Autor błędnie zdefiniował wejście algorytmu. Na wejściu algorytmu powinien być przekazywany zbiór F_α , a nie $\alpha \in F_\alpha$. W tym algorytmie, wartość α nie jest przekazywana jako parametr wejściowy, ale jest wybierana ze zbioru F_α w pętli (linia 2). Poza tym, w tym algorytmie Autor nie pokazał żadnego zachłannego doboru wartości α jak to zostało zasugerowane w nagłówku algorytmu.

Uwagi techniczne do rozdziału 4:

1. Algorytmy 4.2 oraz 4.3 są algorytmami rekurencyjnymi. Użyty przez Autora sposób zapisu tych algorytmów nie jest precyzyjny. Czytelniejsze i precyzyjniejsze byłoby jawne pokazanie w algorytmach warunków początkowych rekurencji i wywołań rekurencyjnych, tj. wykorzystanie schematu:

```
rekurencja(dane):
    if warunek początkowy niespełniony:
        rekurencja(dane_1)
        ...
        rekurencja(dane_N)
```

2.5 Ocena rozdziału 5

W rozdziale 5, Autor przedstawił zagadnienia dotyczące aproksymacji pojęć czasowych opartej o drzewa decyzyjne z weryfikującymi cięciami temporalnymi (VTC-Tree). W szczególności zagadnienia te dotyczą:

1. Motywacji rozszerzenia metody generowania drzew decyzyjnych z cięciami temporalnymi (TC-Tree) do metody generowania drzew decyzyjnych z weryfikującymi cięciami temporalnymi (VTC-Tree).
2. Konstrukcji weryfikujących cięć temporalnych.
3. Algorytmów generowania oraz wykorzystania drzew decyzyjnych z weryfikującymi cięciami temporalnymi.
4. Wyników eksperymentów klasyfikacji danych rzeczywistych przeprowadzonych z użyciem zaproponowanego podejścia oraz podejścia referencyjnego TC-Tree.

Rozdział 5 zawiera opis nowej metody zaproponowanej przez Autora stanowiącej jedno z głównych osiągnięć przygotowanej rozprawy doktorskiej. Tak jak w przypadku rozdziału 4, należy zwrócić uwagę na logiczną konstrukcję tego opisu według schematu: opis motywacji, opis przygotowania danych, opis metod generowania i testowania modeli, opis i dyskusja wyników eksperymentów z użyciem wygenerowanych modeli.

Uwagi merytoryczne do rozdziału 5:

1. W podrozdziale 5.3, Autor nie wyjaśnił dlaczego złożoność algorytmu sortowania wartości atrybutów w najgorszym wypadku wynosi $O(n \log n)$.
2. W podrozdziałach 5.3 oraz 5.5, Autor, tak jak w podrozdziale 4.2, we wzorach na wzorce czasowe użył błędnego wyrażenia $card(u \in w)$.
3. W podrozdziałach 5.3 oraz 5.4, Autor przywołał, tak jak w podrozdziałach 4.2 - 4.4, temporalną tablicę decyzyjną TDT_t bez zbioru obiektów U .
4. W algorytmie 5.4, Autor, tak jak w algorytmie 4.3, błędnie zdefiniował wejście algorytmu. Na wejściu algorytmu powinien być przekazywany zbiór F_α , a nie $\alpha \in F_\alpha$.
5. W algorytmie 5.5, nie jest jasne co robi zwracanie przewidywanej klasy w węźle (linia 37).

Uwagi techniczne do rozdziału 5:

1. Analogicznie jak algorytmy 4.2 oraz 4.3, również algorytmy 5.3 oraz 5.4 są algorytmami rekurencyjnymi. Użyty przez Autora sposób zapisu tych algorytmów nie jest precyzyjny.

2.6 Ocena rozdziału 6

W rozdziale 6, Autor przedstawił zagadnienia dotyczące identyfikacji i przewidywania zmian temporalnych wzorców zachowania na przykładzie problemu leczenia niewydolności oddechowej u wcześniaków. W szczególności zagadnienia te dotyczą:

1. Medycznych aspektów leczenia niewydolności oddechowej u wcześniaków.
2. Definiowania i identyfikacji temporalnych wzorców zachowania.
3. Przewidywania temporalnych wzorców zachowania.
4. Przygotowania danych do klasyfikacji i procedury klasyfikacji.
5. Wyników eksperymentów z identyfikacją i przewidywaniem zmian temporalnych wzorców zachowania z użyciem popularnych metod klasyfikacji.

Rozdział 6 zawiera opis nowej metody zaproponowanej przez Autora stanowiącej jedno z głównych osiągnięć przygotowanej rozprawy doktorskiej. Należy zwrócić uwagę na przejrzysty opis zrealizowanych eksperymentów.

Uwagi merytoryczne do rozdziału 6:

1. W podrozdziale 6.5, Autor nie uzasadnił wyboru proporcji 50%/50% dla podziału zbioru danych na część treningową i testową, zwłaszcza, że w podrozdziale 2.4.1 Autor wspomniał o popularnych proporcjach 70%/30% i 80%/20%.

2. W podrozdziale 6.5, Autor nie uzasadnił wyboru pięciu punktów czasowych dla okien warunkowych oraz trzech punktów czasowych dla okien decyzyjnych. Nasuwa się pytanie dlaczego okna te nie mają jednakowej długości.
3. Dla tabel 6.3, 6.4 oraz 6.5, Autor umieścił błędne opisy. Tabele nie przedstawiają wyników selekcji cech poszczególnymi metodami, ale przedstawiają wyniki klasyfikacji po uprzedniej selekcji cech poszczególnymi metodami.

Brak jest uwag technicznych do rozdziału 6.

2.7 Ocena rozdziału 7

W rozdziale 7, Autor zawarł podsumowanie rezultatów zrealizowanej rozprawy doktorskiej, wnioski z przeprowadzonych w ramach rozprawy eksperymentów oraz możliwe kierunki dalszych badań w zakresie klasyfikacji danych temporalnych. Brak jest uwag merytorycznych i technicznych do rozdziału 7.

3 Ogólna ocena rozprawy

Brak jest istotnych zastrzeżeń do strony merytorycznej rozprawy. Autor wykazał się odpowiednią znajomością zagadnień poruszonych w rozprawie, w szczególności znajomością zagadnień z uczenia maszynowego dotyczących budowy i testowania modeli klasyfikacyjnych w postaci drzew decyzyjnych. Drobne uwagi merytoryczne dotyczące zawartości poszczególnych rozdziałów i podrozdziałów rozprawy podane zostały w poprzedniej części recenzji. Istotnym elementem pracy, stanowiącym naukowy wkład Autora, jest zaproponowanie nowych metod generowania drzew decyzyjnych z cięciami temporalnymi oraz identyfikacji i przewidywania zmian temporalnych wzorców zachowania. Autor nie ograniczył się tylko do aspektów teoretycznych. Zaproponowane metody zostały przetestowane na danych rzeczywistych pochodzących z różnych dziedzin. Rozważane problemy rzeczywiste dotyczyły zarówno klasyfikacji binarnej jak i klasyfikacji wieloklasowej. Należy pozytywnie ocenić eksperymentalną walidację zaproponowanych podejść na danych rzeczywistych. Autor w sposób prawidłowy zrealizował i opisał przeprowadzone w ramach rozprawy eksperymenty. Dzięki takiemu zakresowi badań, w rozprawie powstało spójne i pełne opracowanie naukowe wybranej tematyki z zakresu klasyfikacji danych temporalnych, stanowiące istotny wkład do rozwoju metod uczenia maszynowego. Ważnym elementem badań przeprowadzonych przez Autora jest implementacja zaproponowanych metod jako pakietu w języku Python. Przede wszystkim, umożliwia to upowszechnienie wyników rozprawy w środowisku naukowym.

Brak jest istotnych zastrzeżeń do strony formalnej, m.in. językowej i notacyjnej rozprawy. Rozprawa napisana jest komunikatywnym językiem. Można znaleźć w tekście incydentalne błędy literowe. Autor swobodnie i jasno formułuje myśli. Zdania układają się w logiczny ciąg, przez co nie istnieją problemy w percepcji tekstu. Patrząc na całość rozprawy, stronę formalną rozprawy należy ocenić pozytywnie. Została ona poprawnie zredagowana.

Zakres wykorzystanych w rozprawie źródeł literaturowych należy uznać za poprawny. W wykazie bibliografii Autor umieścił istotny i reprezentatywny, z punktu widzenia rozważanej tematyki, zestaw źródeł literaturowych. Autor w tekście rozprawy odwoływał się wielokrotnie do różnych źródeł. Elementy zaproponowanych w rozprawie metod zostały przedstawione w publikacjach naukowych w czasopiśmie oraz w materiałach konferencji międzynarodowych.

Do pozytywnych stron rozprawy można również zaliczyć:

- Ujednoliconą, bardzo czytelną strukturę opisów zaproponowanych metod oraz eksperymentów wykonanych przy ich użyciu.
- Szeroki zakres eksperymentów. Porównanie jakości modeli klasyfikacyjnych zbudowanych z użyciem zaproponowanych w rozprawie metod z wieloma innymi modelami klasyfikacyjnymi zbudowanymi przy użyciu wybranych podejść klasycznych oraz podejść uczenia głębokiego.
- Umieszczenie w rozprawie prostych przykładów obliczeniowych objaśniających działanie zaproponowanych metod.
- Umieszczenie w rozprawie czytelnych rysunków objaśniających wybrane procedury wstępnego przygotowania danych do budowy i testowania modeli klasyfikacyjnych.

Do pewnych mankamentów rozprawy można zaliczyć:

- Brak umieszczenia w rozprawie opisu pakietu *pyCommoDM*, w którym zaimplementowano metody przedstawione w rozprawie i który wydaje się być integralną częścią rozprawy.
- Niepełny opis niektórych istotnych parametrów metod użytych w eksperymentach, np. brak wartości k przy klasyfikacji metodą k najbliższych sąsiadów.

4 Podsumowanie

Podsumowując, uważam, że przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Adama Szczura odpowiada wymogom stawianym rozprawom doktorskim w *Ustawie Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* z dn. 20 lipca 2018 r. **Przedłożoną rozprawę oceniam pozytywnie.** W związku z tym wnioskuję bez zastrzeżeń o dopuszczenie mgr inż. Adama Szczura do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie Informatyka Techniczna i Telekomunikacja.

