

Opole, 4.01.2023

dr hab. inż. Krzysztof Bartecki
prof. Politechniki Opolskiej
Katedra Automatyki
Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki
Politechnika Opolska

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
Biuro Rady Dyscypliny
Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika
i Technologie Kosmiczne

wpłynęło dnia 13.01.2023
nr 1 zat.

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr inż. Pauliny Bugiel

pt. Automatyczna analiza dużych zbiorów nagrań wideo w celu wskazania w nich obrazów wybranych obiektów i określenia warunków pogodowych

Niniejsza recenzja została opracowana na zlecenie Przewodniczącej Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika na Politechnice Śląskiej, dr hab. inż. Moniki Kwoki, sporządzone w dniu 9 listopada 2022 r. (sygnatura RDAEE.512.11.2022).

1. Tematyka, cel i tezy rozprawy

Tematyka przedstawionej rozprawy doktorskiej dotyczy rozwijającej się intensywnie od kilku dekad problematyki zastosowania metod tzw. sztucznej inteligencji oraz uczenia maszynowego w zadaniu rozpoznawania oraz klasyfikacji obrazów. Zgodnie z najnowszymi trendami w tej dziedzinie, w rozprawie wykorzystuje się w tym celu algorytmy tzw. uczenia głębokiego, a dokładniej – tzw. splotowe (konwolucyjne) sieci neuronowe. Sieci te stanowią pewną odmianę wielowarstwowych, jednokierunkowych sieci neuronowych i dobrze sprawdzają się we wspomnianych wyżej zastosowaniach.

Głównym celem rozprawy jest opracowanie systemu usprawniającego opis oraz segregację nagrań wideo z samochodowych jazd testowych z wykorzystaniem metod uczenia głębokiego. W ramach realizacji tego celu sformułowano w pracy dwie tezy: pierwsza z nich odnosi się do głównego wątku badań Doktorantki i dotyczy możliwości wzbogacania („augmentacji”) zestawu danych uczących sieć neuronową z wykorzystaniem już istniejących, lecz odpowiednio zmodyfikowanych wzorców, w celu zapewnienia dobrych właściwości generalizacyjnych sieci. Druga z tez dotyczy wpływu różnego rodzaju zakłóceń na jakość klasyfikacji obrazów i ma charakter nieco poboczny, zaś rezultaty badań, mające na celu jej udowodnienie, wydają się być w dużej mierze zgodne z intuicją.

Zgodnie z deklaracjami Autorki, wyniki badań zrealizowanych w ramach pracy doktorskiej mogą znaleźć zastosowanie np. w branży samochodowej, a dokładniej – w dziedzinie tzw. aktywnego bezpieczeństwa, której zadaniem jest szeroko rozumiane zapobieganie wypadkom drogowym. Zakłada się tu, że algorytmy wykorzystujące metody uczenia maszynowego będą mogły rozpoznawać różne obiekty, takie jak np. samochody, znaki drogowe, pasy ruchu, czy też wnioskować o aktualnych warunkach pogodowych.

Mając na uwadze powyższy kontekst, tematykę badań podjętych w ramach przedstawionej dysertacji oceniam jako aktualną i potrzebną, zarówno ze względu na jej walor badawczo-naukowy, jak i wspomniany wyżej aspekt praktyczny.

2. Struktura i zawartość rozprawy oraz dorobek publikacyjny Autorki

Recenzowana rozprawa liczy 120 stron w formacie A4, zawiera 70 rysunków, 20 tabel oraz 1 załącznik. Podzielona jest na 4 rozdziały, poprzedzone spisami: treści pracy, rysunków oraz tabel. Tytuły jej kolejnych rozdziałów: 1. *Wstęp*, 2. *Przegląd literatury*, 3. *Badania* oraz 4. *Podsumowanie* zostały sformułowane w bardzo ogólny sposób i mogłyby właściwie dotyczyć dowolnej pracy doktorskiej, ale również np. magisterskiej. Trudno na ich podstawie zorientować się, czego praca dotyczy. Dopiero tytuły podrozdziałów wnoszą zdecydowanie więcej informacji odnośnie ich zawartości.

W pierwszym, wprowadzającym rozdziale Autorka określiła cel pracy oraz sformułowała dwie wspomniane wcześniej tezy. Rozdział drugi ma charakter przeglądowy i zawiera omówienie wybranych zagadnień dotyczących struktur, uczenia oraz działania sztucznych sieci neuronowych, a także ich zastosowań w detekcji oraz klasyfikacji obrazów, ze szczególnym uwzględnieniem wykorzystywanych w pracy sieci splotowych. Omówiono tutaj m.in. wybrane architektury tych sieci, sposoby oznaczania obiektów na obrazach oraz miary stosowane do oceny jakości ich detekcji. Rozdział ten miał w zamiśle Autorki stanowić teoretyczną podbudowę rozwiązywanych w ramach pracy problemów badawczych, przy czym zawiera on pewne nieścisłości, które omówione zostały w dalszej części recenzji. Najważniejszą, centralną część rozprawy stanowi rozdział trzeci, w którym przedstawiono wyniki badań prowadzonych w trakcie realizacji pracy doktorskiej. Po omówieniu wykorzystanych w pracy zbiorów danych oraz metodyki badań, w kolejnych punktach tego rozdziału Autorka stara się udowodnić postawione wcześniej tezy. Ostatni, czwarty rozdział pracy ma charakter podsumowujący i zawiera wynikające z pracy wnioski, a także omówienie potencjalnych kierunków dalszych badań. Załącznik do pracy (Dodatek A) zawiera 3-klauzulową licencję BSD w języku angielskim. Wykaz bibliografii liczy 86 pozycji, w większości trafnie dobranych i odpowiednio cytowanych w treści rozprawy. W zdecydowanej większości są to artykuły naukowe, książki oraz inne opracowania w języku angielskim, przy czym większość z nich to publikacje z ostatnich kilku lat.

Podsumowując strukturę rozprawy, należy stwierdzić, że jest ona zredagowana w sposób poprawny. Czyta się ją w miarę dobrze, pomijając bardzo dużą liczbę usterek interpunkcyjnych, literowych oraz stylistycznych, których przykłady zostały podane w dalszej części recenzji. Ilustracje oraz wykresy są w większości czytelne i umieszczone we właściwych miejscach, co ułatwia czytelnikowi zrozumienie treści pracy oraz analizę otrzymanych wyników. Pewne zastrzeżenie może budzić brak wystarczającego powiązania, poprzez zastosowanie odpowiednich odsyłaczy, praktycznego rozdziału 3. z podstawami teoretycznymi omówionymi wcześniej w rozdziale 2. Na przykład w rozdziale 3.5. zatytułowanym *Augmentacja z wykorzystaniem sieci generatywnych GAN* nie występuje ani jedno odwołanie do treści rozdziału 2.6. *Współzawodniczące sieci generatywne GAN*. Zamiast tego Autorka ponownie odwołuje się w nim do pozycji bibliograficznych dotyczących sieci GAN. Jaki był zatem cel umieszczenia w pracy rozdziału 2.6? Ta sama uwaga dotyczy innych podrozdziałów rozdziału 3.

Od strony merytorycznej należy natomiast pracę ocenić pozytywnie; na uwagę zasługuje przeprowadzenie przez Doktorantkę wielu prac- oraz czasochłonnych czynności związanych z pozyskaniem oraz przygotowaniem wzorców uczących i przeprowadzeniem procesu uczenia sieci neuronowej, a także umiejętność formułowania złożonych problemów badawczych i ich rozwiązywania przy użyciu odpowiednich narzędzi komputerowych.

Dorobek publikacyjny mgr inż. Pauliny Bugiel obejmuje 6 pozycji (współautorskich z promotorem rozprawy oraz z innymi autorami), przy czym 4 z nich to publikacje z takich konferencji, jak: *International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics* (MMAR), *International Conference on Signals and Electronic Systems* (ICES) oraz *Computer Science On-line Conference* (CSOCS). Dwie pozostałe pozycje to artykuły opublikowane w lokalnym Wydawnictwie Politechniki Śląskiej. Pięć spośród wyżej wymienionych publikacji jest cytowanych w rozprawie doktorskiej, zaś trzy z nich są indeksowane z bazy *Web of Sciences*. Nie jest to liczba bardzo duża, lecz w zupełności wystarczająca w przypadku kandydata ubiegającego się o stopień doktora nauk technicznych.

3. Uwagi do treści rozprawy

Zanim przejdę do omówienia zauważonych w pracy usterek merytorycznych oraz redakcyjnych, miałbym kilka ogólnych uwag o charakterze dyskusyjnym, o ustosunkowanie się do których chciałbym prosić Doktorantkę:

- a) Jedną z najistotniejszych, pożądanych właściwości charakteryzujących nauczoną sieć neuronową, są jej właściwości generalizacyjne. Tymczasem z pewnym zaskoczeniem stwierdzam, że w całej swojej pracy nie użyła Pani ani razu pojęcia *generalizacji* (również w formie jego synonimu: *uogólniania*). Jedną z cech charakteryzujących dobrego badacza, obok dociekliwości, umiejętności planowania oraz przeprowadzania badań, a także wyciągania z nich odpowiednich wniosków, jest również umiejętność odpowiedniego nazywania badanych zjawisk oraz ich właściwości, używając w tym celu pojęć stosowanych i ugruntowanych w literaturze przedmiotu. Prosiłbym zatem Panią o przybliżenie pojęcia *właściwości generalizacyjnych* (*uogólniania*) w odniesieniu do sztucznej sieci neuronowej oraz krótkie omówienie stosowanych technik, mających na celu zapewnienie tej właściwości sieci.
- b) Uczenie sztucznej sieci neuronowej, mające na celu minimalizację odpowiednio zdefiniowanej funkcji błędu (kosztu), zostało przeprowadzone w pracy z wykorzystaniem klasycznej metody gradientowej. W celu poprawy jakości uczenia zastosowała Pani również pewną jej modyfikację, polegającą na uwzględnieniu tzw. czlonu *momentum*, zwanego w pracy *impetem*. Jednak pod względem jakościowym nadal mamy tu do czynienia ze stosunkowo wolno zbieżną metodą gradientową (I rzędu). Jak wiadomo, w przypadku płytkich sieci neuronowych z poszukiwaniem minimum funkcji błędu zdecydowanie lepiej „radzą sobie” quasi-newtonowskie algorytmy optymalizacyjne II rzędu. Jako sztandarowy przykład można tu podać algorytm Levenberga-Marquardta, wykorzystujący aproksymację macierzy hesjanu (drugich pochodnych funkcji błędu) z uwzględnieniem tzw. czynnika regularyzującego. Algorytm ten oferuje zdecydowaną poprawę jakości uczenia sieci w porównaniu z metodą gradientową. W związku z tym miałbym następujące pytanie: czy wspomniane tu algorytmy optymalizacyjne II rzędu również znajdują zastosowanie w uczeniu głębokich sieci neuronowych? Nie zostały one omówione w treści rozprawy, z czego wynika, że albo nie były one wykorzystywane, albo nie dawały lepszych wyników uczenia, niż „zwykła” metoda gradientowa.
- c) Na str. 58, 76 oraz 81 pisze Pani, że proces uczenia sieci był bardzo czasochłonny – w przypadku niektórych rozmiarów sieci uczenie trwało nawet ponad miesiąc. Z kolei omawiając platformę programistyczną *Darknet* wspomina Pani na str. 60 o możliwości jej

implementacji na klastrze obliczeniowym. Nasuwa się tu następujące pytanie: czy próbowano skrócić tak długi czas obliczeń poprzez zastosowanie klastra wydajnościowego? W rozdziale 3.2.1 zatytułowanym *Stanowisko badawcze* czytamy, że składało się ono z pojedynczego komputera. Co prawda dalej, na str. 87, znajduje się krótka wzmianka o klastrze, ale nie podano szczegółów; w szczególności nie ma tu informacji o tym, czy i w jakim stopniu jego zastosowanie wpłynęło na czas uczenia sieci neuronowej.

3.1. Inne uwagi merytoryczne

- Sformułowania takie, jak: „bardziej optymalny”, „najbardziej optymalny” (str. 9, str. 100) są niepoprawne i nieakceptowalne w pracy doktorskiej.
- W rozdziale 2.2.2 omawiane jest zagadnienie minimalizacji funkcji kosztu (funkcji błędu sieci). Tymczasem pojęcie funkcji kosztu zostało wprowadzone dopiero w rozdziale 2.2.4. Bardziej sensowne byłoby zdefiniowanie najpierw funkcji kosztu, a dopiero później omówienie zadania jej minimalizacji. Analogicznie, na str. 15 oraz 16 Autorka wspomina o zjawisku przetrenowania, jednak wyjaśnia je dopiero na str. 17. Również na str. 43 autorka używa oznaczenia *IoU*, definiując je dopiero na następnej stronie.
- Opisując na str. 13 technikę uczenia nadzorowanego. Doktorantka pisze: „Uczenie nadzorowane wymaga zbioru danych uczących zawierającego spodziewane wyjścia w postaci anotacji”. Pomijając aspekt stylistyczny (zamiast „spodziewane wyjścia” powinno raczej być „wzorcowe/zadane wartości wyjściowe sieci”), definicja ta powinna być tu sformułowana w nieco bardziej ogólny sposób. Uczenie nadzorowane wymaga znajomości zarówno wzorców wejściowych, jak i wzorców wyjściowych (tzn. „zadanych” odpowiedzi sieci na poszczególne wzorce wejściowe). Oczywiście, w szczególnym przypadku rolę wzorców wyjściowych mogą pełnić wspomniane tu anotacje, jednak ponieważ rozdział 2.2. ma z założenia charakter ogólny (jest zatytułowany *Sieci neuronowe*), więc wymagany byłby tu wyższy poziom ogólności sformułowań.
- Opisując na str. 13 technikę uczenia nienadzorowanego, Doktorantka pisze: „Uczenie nienadzorowane nie wymaga znajomości wyjścia sieci”. Podany tu opis jest nieprecyzyjny. Uczenie nienadzorowane nie wymaga znajomości *wzorców wyjściowych*. Natomiast w przypadku niektórych odmian uczenia nienadzorowanego, na przykład w metodzie uczenia korelacyjnego, oprócz wzorców wejściowych wykorzystuje się „wyjścia sieci”, czyli odpowiedzi sieci na poszczególne wzorce wejściowe.
- Nie wyjaśniono oznaczeń E , E_0 oraz λ występujących we wzorach (2.8) oraz (2.9).
- W ramach rozdziału 2.2.10. *Augmentacja danych* wydzielono podpunkt zatytułowany *Impet*, odnoszący się do modyfikacji metody gradientowej, polegającej na zastosowaniu tzw. członu *momentum*. Wątpliwość budzi umieszczenie tego podrozdziału akurat w tym miejscu – jego treść w żaden sposób nie jest związana z augmentacją danych uczących.
- Na str. 24 Autorka pisząc o neuronowej klasyfikacji obiektów definiuje ją następująco: „Klasyfikacja obiektów czy obrazów służy przypisaniu całego obrazu lub jego fragmentu (obszaru zainteresowania) do jednej z określonych wcześniej klas”. Należy zauważyć, że stwierdzenie to jest prawdziwe tylko w przypadku uczenia nadzorowanego, w którym podział wzorców wejściowych na klasy jest narzucony przez nauczyciela. Natomiast w przypadku

uczenia nienadzorowanego przyporządkowywanie wzorców wejściowych do poszczególnych klas odbywa się zwykle dopiero w trakcie uczenia sieci.

- We wzorze (2.14) opisującym funkcję strat sieci Yolo wskazane byłoby wprowadzenie oznaczeń jej członów składowych (na przykład: $E = E_l + E_s + E_o + E_n + E_c$, gdzie $E_l = \dots$). Łatwiej byłoby wówczas Czytelnikowi zrozumieć ten wzór oraz znajdujący się pod nim opis oznaczeń.
- We wzorze (2.18) nie podano, czym są A oraz B .
- Na str. 45 zdefiniowano metrykę mAP , jednak zrobiono to w sposób opisowy. W pracy doktorskiej spodziewalibyśmy się jednak czegoś więcej, np. definicji tej metryki w formie wzoru. Ta sama uwaga dotyczy omówionej na str. 49 odległości Wassersteina, w której mowa o „górcie piachu”. Intuicja jest oczywiście ważna, lecz najważniejsza w pracy o charakterze naukowym jest precyzja opisu.
- Podpunkt „ANOVA z poprawką Welcha” (str. 50) nie zawiera informacji, na czym ta poprawka polega.

3.2. Uwagi redakcyjne

Praca w wielu miejscach jest napisana nieco nieporadnie od strony stylistycznej. Występują w niej sformułowania potoczne, ocierające się niekiedy o wyrażenia slangowe, np. „są wykorzystywane w automotive” (str. 34). Autorka często powtarza te same określenia w sytuacji, gdy wskazane byłoby użycie synonimów – w celu uniknięcia powtórzeń lub przypomnienia znaczenia wyrazów, które nie są w powszechnym użyciu (np. okluzja, anotacja, augmentacja).

- Poniżej wymieniono niektóre przykłady zauważonych w pracy usterek stylistycznych:
 - Str. 1: „prace opisane w pracy doktorskiej”;
 - Str. 13: „Typ uczenia sieci może skategoryzować ogólnie na”;
 - Str. 13: „Anotacje są to opisy spodziewanych rezultatów jakie sieć ma rozpoznawać”;
 - Str. 15: „Czym zatem jest dobry zestaw danych?” – taki styl jest do zaakceptowania w artykułach popularnonaukowych, natomiast w pracach naukowych nie zaleca się stosowania tego typu zdań pytających. Dodatkowo, rozdział 2.2.7. „urywa się” zaraz za znakiem zapytania, bez udzielenia odpowiedzi na powyższe pytanie;
 - Str. 15: „danych, których sieć jeszcze nie widziała” – sformułowanie potoczne;
 - Str. 20: „splot wejścia z filtrami o zdefiniowanych wcześniej wymiarach 2.13” – powinno być: „splot (...), realizowany na podstawie zależności (2.13)”;
 - Str. 23: „Normalizacja paczki danych jest to wprowadzenie normalizacji, dzięki której średnia wartość aktywacji wynosi zero, a ich odchylenie standardowe wynosi jeden” – to sformułowanie jest nieco zagmatwane;
 - Str. 25: „Dzięki użyciu sieci splotowej, R-CNN daje dobre wyniki” – R-CNN to właśnie sieć splotowa;
 - Str. 26: „Dzięki zastosowanym ulepszeniom, trenowanie sieci jest znacznie uproszczone oraz szybsze” – nie określono, w stosunku do czego;

- Str. 30: „zostały opisane w 2.5” – powinno być: „zostały opisane w rozdziale 2.5”. Ta sama uwaga dotyczy wielu podobnych wystąpień tej konstrukcji;
 - Str. 33: „Przykład pokazany na rysunku 2.18.” – to nie jest zdanie (brak orzeczenia, powinno być np. „został pokazany”). Ponadto nie podano przykład czego pokazano;
 - Str. 34: „są najczęściej wykorzystywane w automotive” – powinno być: „są najczęściej wykorzystywane w branży samochodowej”;
 - Str. 36: „Zebranie odpowiednich danych do trenowania sieci neuronowej jest bardzo ważnym aspektem” – nie doprecyzowano aspektem czego;
 - Str. 40: „i następuje go kiedy”;
 - Str. 42: „wymagane jest użycie odpowiednich aparatów matematycznych”;
 - Str. 60: „Idąc tym tropem” – sformułowanie potoczne;
 - Str. 60: „ilość próbek” – lepiej: „liczba próbek”;
 - Str. 63: Zamiast „(3.6)” powinno być „(Rys. 3.6)”. Bez takiego doprecyzowania w odsyłaczu nie wiadomo, czy chodzi o rysunek, wzór, czy może o rozdział;
 - Str. 63: „operacji ścinania na obraz”;
 - Str. 66: „na nich była liczona walidacja”;
 - Str. 72: „dane są na tyle od siebie”;
 - Str. 97: „Celem było sprawdzenie” – nie doprecyzowano czego celem;
 - Str. 100: Zawartość całego podrozdziału *Optymalna liczba podgrup* jest na niskim poziomie stylistycznym oraz merytorycznym (np. „najbardziej optymalny”);
 - Str. 116: „Badania pracy doktorskiej” – lepiej: „Badania opisane w pracy doktorskiej” lub: „Badania przeprowadzone w ramach pracy doktorskiej”;
 - Str. 117: „Niektóre degradacje powodują różny spadek jakości detekcji (obrazu)” – lepiej: „Jakość detekcji obrazu zależy od rodzaju jego degradacji”.
- Oprócz omówionych wyżej błędów stylistycznych, praca zawiera dużo usterek literowych oraz interpunkcyjnych. Autorka często pomija przecinek, wymagany np. w celu oddzielenia zdania podrzędnego od nadrzędnego. Prawie na każdej stronie brakuje po kilka przecinków czy kropek (niekiedy występują nadmiarowe kropki, jak np. na str. 31). Jeśli chodzi o błędy literowe, to już we wstępie pracy na str. 1 mamy „u życie” zamiast „użycie”, a w tezie pracy na str. 3 – „nowy” zamiast „nowych”. Poniżej wyszczególniono inne usterki literowe:
 - Str. 31: zamiast „20-sekundowych” powinno być „20-sekundowych” oraz „ponad 20 tysięcy” zamiast „ponad 20 ty.”;
 - Str. 32: zamiast „ny rysunku” powinno być „na rysunku” oraz zamiast „Segmentacja jest do podzielenie...” powinno być „Segmentacja polega na podziale...”;
 - Str. 35: zamiast „stereo-wizja” powinno być „stereowizja”;
 - Rys. 3.7: Zamiast „Ścianie” powinno być „ściananie”;
 - Str. 64: Zamiast „zazadanie” powinno być „za zadanie”;

- Str. 69: Zamiast „Tolo v2” powinno być „Yolo v2”;
 - Str. 93: Zamiast „nos” powinno być „noc”.
- Błędne jest oddzielanie apostrofem każdej końcówki w wyrazach obcego pochodzenia. Apostrofu używamy dla oznaczenia końcówki tylko wówczas, gdy jakaś część wyrazu podstawowego nie jest wymawiana, np.: Ampere`a, iPhone`a, Jules`a Verne`a. Dlatego w pracy zamiast: „Lidar`u” (str. 30), „Jackard`a” (str. 44), „Welch`a” (str. 50, 103, 115), „Joseph`a Redmon`a” (str. 59), „Darknet`u” (str. 60), „van Gogh`a” (str. 75 i VIII), „Wasserstein`a” (str. 109 i 115), powinno być odpowiednio: „lidaru”, „Jackarda”, „Welcha”, „Joseph Redmona”, „Darknetu”, „van Gogha”, „Wassersteina”.
 - W wykazie rysunków na str. V-X wystarczyłoby podanie podstawowych podpisów pod rysunkami. Dołączenie szczegółowych opisów rysunków sprawia, że wykaz ten niepotrzebnie zajmuje aż 11 stron.
 - W pracy nie ma rysunku 3.1.4, do którego jest odwołanie na str. 33. Być może chodziło o Rys. 3.2.
 - Brak podanych jednostek czasu na wykresie z Rys. 2.14.
 - Oznaczenia wielkości o , w , p , f , s pod wzorem (2.12) powinny być zapisane kursywą – tak, jak we wzorze. Podobnie we wzorze (2.19) symbole S oraz i powinny być zapisane kursywą, natomiast oznaczenie funkcji „max” – czcionką prostą.
 - Zamiast myślnika (dłuższej kreski poziomej), w pracy często niepoprawnie stosowany jest znak łącznika (dywizu). Na przykład na str. 17 powinno być: „błąd zamiast spadać – rósłby”.
 - W języku polskim używa się cudzysłowu postaci: „ ”. Tymczasem Autorka stosuje niekiedy (np. na str. 27, 77) cudzysłów amerykański (" ").
 - Na str. 27 zamiast „SxS komórek” powinno być „S×S komórek” (znak mnożenia zamiast litery x). Podobnie na str. 65 zamiast „macierz 20x16” powinno być „macierz o rozmiarach 20×16”. Co ciekawe, na str. 91 Autorka używa właściwego znaku mnożenia.
 - Rozmiary obrazów na Rys. 3.10 są nieco zbyt małe, aby można było zauważyć detale wynikające z nałożenia na oryginalny obraz poszczególnych filtrów.
 - Pewne wątpliwości budzi na str. 73 sposób podziału tekstu na akapity.
 - Brak odwołania z treści pracy do Tab. 3.2. Brak omówienia w treści pracy wyników zebranych w Tab. 3.9 – rozdział kończy się tą tabelą.
 - Duży rozmiar czcionki na Rys. 3.32 powoduje, że nie komponuje się on dobrze z tekstem pracy. Z kolei wykresy na Rys. 3.35 są zbyt małe; w efekcie ich detale (np. legenda) są nieczytelne. Ponadto przydałoby się tu oznaczenie poszczególnych wykresów, np. a), b), c), d), e).
 - Na Rys. 3.34 wskazane byłoby umieszczenie legendy zawierającej informację, jaki jest związek poszczególnych kolorów na wykresie z jakością detekcji.

Podsumowując, wyniki pracy są na dobrym poziomie merytorycznym, natomiast słabiej wypada jej strona redakcyjna, przez której pryzmat patrzy np. recenzent pracy. Rzutuje to w pewien sposób na jej całościowy odbiór. Proszę, aby Doktorantka nie ustosunkowywała się do powyższych uwag redakcyjnych podczas obrony, lecz aby ewentualnie uwzględniła je w swoich przyszłych publikacjach.

4. Wnioski końcowe

Na podstawie lektury przedstawionej do recenzji rozprawy można stwierdzić, że jej Autorka dobrze orientuje się w zagadnieniach związanych z zastosowaniem metod sztucznej inteligencji oraz uczenia maszynowego w zadaniu rozpoznawania oraz klasyfikacji obrazów. Na szczególną uwagę zasługuje wykonanie wielu praco- oraz czasochłonnych czynności związanych z pozyskaniem oraz przygotowaniem wzorców uczących i przeprowadzeniem procesu uczenia sieci neuronowej, a także umiejętność rozwiązywania złożonych problemów badawczych przy pomocy odpowiednich narzędzi komputerowych.

Wspomniane problemy badawcze zostały przez Doktorantkę w jasny sposób sformułowane w celu oraz tezach pracy, a następnie zrealizowane oraz udokumentowane (poprawnie, choć z pewnymi usterkami) w formie recenzowanej rozprawy.

W związku z powyższym stwierdzam, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Pauliny Bugiel pt. *Automatyczna analiza dużych zbiorów nagrań wideo w celu wskazania w nich obrazów wybranych obiektów i określenia warunków pogodowych* spełnia wszystkie wymagania stosownej ustawy o tytułach i stopniach naukowych i wnioskuję o jej przyjęcie przez Radę Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika na Politechnice Śląskiej oraz dopuszczenie do publicznej obrony.